



М. Д. ГАНЗБУРГ

УЛУЧШЕНИЕ ЗВУЧАНИЯ ПРИЕМНИКА



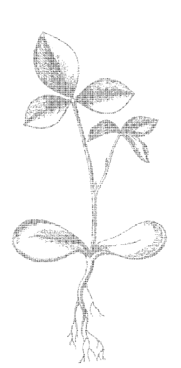
МАССОВАЯ РАДИОБИБЛИОТЕКА

Выпуск 756

М. Д. ГАНЗБУРГ

УЛУЧШЕНИЕ ЗВУЧАНИЯ ПРИЕМНИКА

Издание третье, переработанное





«ЭНЕРГИЯ»

МОСКВА 1971

6Ф2.12
Г19
УДК.621.396.62

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ:

Берг А. И., Бурдейный Ф. И., Бурлянд В. А., Ванеев В. И., Геништа Е. Н., Жеребцов И. П., Канаева А. М., Корольков В. Г., Кренкель Э. Т., Куликовский А. А., Смирнов А. Д., Тарасов Ф. И., Шамшур В. И.

Ганзбург М. Д.

Г19 Улучшение звучания приемника, изд. 3-е, переработ., М., «Энергия», 1971.

96 с. с илл. (Массовая радиобиблиотека. Вып. 756)

В книге рассказывается о громкоговорителях, акустических системах и усилителях низкой частоты, используемых в современных отечественных и зарубежных радиовещательных приемниках. Особое внимание уделено стереофоническим установкам.

Книга рассчитана на радиолюбителей-конструкторов.

3-4-5
319-70

6Ф2.12

ОГЛАВЛЕНИЕ

ПРЕДИСЛОВИЕ К ТРЕТЬЕМУ ИЗДАНИЮ

С момента выхода в свет второго издания этой книги прошло почти 10 лет. За это время бытовая радиоаппаратура сделала новый качественный скачок, направленный на повышение верности воспроизведения разнообразных программ и приближение звучания к естественному.

Прежде всего следует отметить широкое распространение транзисторов не только в простых переносных моделях, но и в стационарных с питанием от сети. Появились как полностью транзисторные приемники, так и смешанные лампово-транзисторные аппараты, где высокочастотная часть построена на радиолампах, а низкочастотная — на транзисторах. Помимо этого, дальнейшее развитие получило стереофоническое воспроизведение звука. Немалое влияние на повышение качества звучания оказало широкое распространение радиокомплексов с общими для всех аппаратов усилителем низкой частоты и акустической системой, обеспечивающими высокое качество воспроизведения.

При подготовке нового издания книги было исключено все то, что либо устарело и вышло из употребления, либо не может быть использовано или не нашло распространения в радиолюбительской практике. Вместо исключенного материала добавлены схемы усилителей низкой частоты на транзисторах, расширено описание акустических систем и рассказано о нововведениях, направленных на повышение качества звучания.

М. Ганзбург

Глава первая

ГРОМКОГОВОРИТЕЛИ

Качество воспроизведения приемника определяется как параметрами его акустической системы и электрического тракта, так и полосой частот, передаваемой радиопередающим устройством. В УКВ диапазоне полоса частот практически не ограничивается. Это позволяет резко повысить качество звучания приемника с УКВ диапазоном путем расширения его частотной характеристики, особенно в области верхних звуковых частот. Но расширение диапазона воспроизводимых частот невозможно, если излучатель звука — громкоговоритель — имеет узкий частотный диапазон.

В настоящее время в радиовещательной аппаратуре почти исключительно используют диффузорные электродинамические громкоговорители прямого излучения, обладающие небольшими габаритами и хорошими электроакустическими параметрами.

СОВРЕМЕННЫЕ ГРОМКОГОВОРИТЕЛИ

Одним из современных громкоговорителей, позволяющим получить высокое качество звучания приемника, является электродинамический громкоговоритель с эллиптической формой диффузора. Основные его преимущества перед громкоговорителем с круглым диффузором состоят в возможности уменьшения габаритов аппарата без ухудшения качества его звучания и значительно меньшей склонности к образованию комбинационных тонов при повышенной мощности.

На рис. 1, *а* приведена диаграмма направленности излучения в горизонтальной плоскости эллиптического громкоговорителя с размерами по осям 180×210 *мм*. На рис. 1, *б* — частотная характеристика этого громкоговорителя, из которой видно, что при неравномерности 15 *дб* эллиптический громкоговоритель воспроизводит полосу звуковых частот от 40 до 15 000 *гц*.

Как круглые, так и эллиптические громкоговорители, особенно повышенной мощности, нередко делают с диффузором, имеющим криволинейную образующую, которая представляет собой участок с экспоненциальной кривой либо дугу окружности определенного радиуса. Применение такого диффузора значительно уменьшает нелинейные искажения, возникающие вследствие прогиба диффузора. Диффузор с криволинейной образующей имеет более жесткую горловину, что способствует более эффективному воспроизведению верхних звуковых частот.

Еще одним способом расширения полосы воспроизводимых звуковых частот в верхнечастотной части диапазона является добавление в громкоговорителе второго небольшого диффузора, такой громкоговоритель получил название двухдиффузорного. Радиолюбителям, вероятно, известны электродинамические громкоговорители с раструбом в центре, который неподвижно укреплен на керне магнитной системы. Такой громкоговоритель, установленный в приемнике «Рига-10», позволил получить акустические параметры, удов-

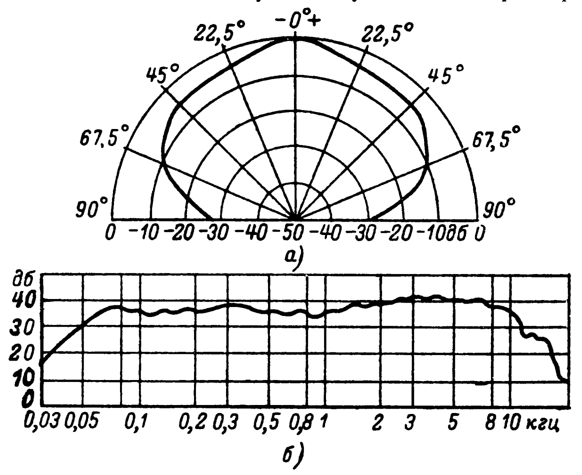


Рис. 1. Характеристики эллиптического электродинамического громкоговорителя.

а — диаграмма направленности излучения на частоте 10 000 *гц*; *б* — частотная характеристика.

летворяющие нормам ГОСТ на радиоприемники первого класса. Однако в этом случае верхняя граница воспроизводимого диапазона ограничивалась частотами порядка 6 500 *гц*.

Наличие дополнительного диффузора увеличивает жесткость горловины подвижной системы, что приводит к улучшению воспроизведения верхних частот. Кроме того, дополнительный диффузор, имеющий меньшие, чем основной, размеры, также излучает преимущественно частоты верхней части звукового спектра. Одновременно расширяется и диаграмма направленности излучения на верхних частотах.

Дополнительный диффузор устанавливают как в круглых, так и в эллиптических громкоговорителях. Интересно отметить, что в эллиптических громкоговорителях иногда рекомендуют дополнительный диффузор делать также эллиптическим и располагать его так, чтобы его большая ось была перпендикулярна большой оси основного диффузора (рис. 2). Такое расположение диффузоров расширяет диаграмму направленности излучения на верхних звуковых частотах не только в горизонтальной, но и в вертикальной плоскости.

Нашим читателям, очевидно, известно, что энергетический спектр музыкального и речевого сигнала сосредоточен в основном на ниж-

них и средних звуковых частотах. Исходя из этого, в акустических системах высококачественной аппаратуры используют довольно мощные громкоговорители нижних частот. Целесообразно при этом использовать громкоговорители с повышенным звуковым давлением, которое достигается введением дополнительной магнитной системы и второй звуковой катушки. Устройство такого громкоговорителя показано на рис. 3, где основная магнитная система *1* прикреплена

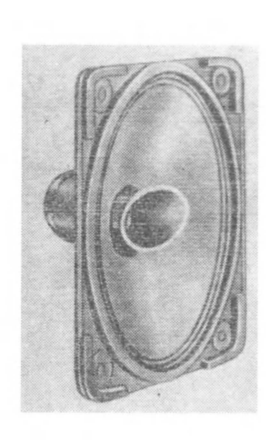


Рис. 2. Эллиптический громкоговоритель с дополнительным диффузором также эллиптической формы.

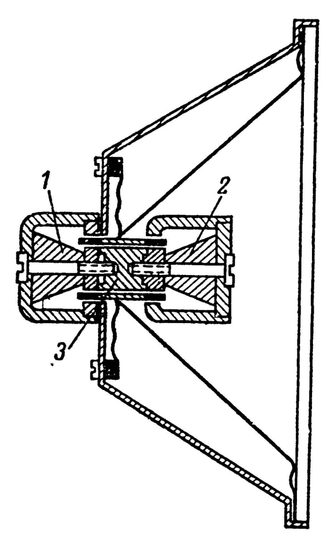


Рис. 3. Устройство электродинамического громкоговорителя с двумя магнитными системами.

к диффузородержателю, а дополнительная магнитная система *2* помещена внутри диффузора и соединена с основной магнитной системой при помощи диамагнитной прокладки *3*. Наличие двух звуковых катушек, которые можно включить параллельно либо последовательно, расширяет эксплуатационные возможности такого громкоговорителя, позволяет наилучшим образом согласовать его как с оконечным каскадом усилителя, так и с другими громкоговорителями, если он входит составной частью в акустический агрегат. Следует, однако, заметить, что такие громкоговорители требуют большой точности изготовления и прецизионной сборки, а поэтому они довольно дороги.

КОАКСИАЛЬНЫЕ ГРОМКОГОВОРИТЕЛИ

В последнее время зарубежные фирмы разработали и все чаще используют в приемниках и акустических агрегатах комбинированные, или, как их еще называют, коаксиальные громкоговорители,

состоящие из двух или более громкоговорителей, рассчитанных на работу в разных поддиапазонах звуковых частот. Получающийся при этом блок громкоговорителей эффективно воспроизводит широкую полосу частот и занимает относительно мало места.

Появление коаксиальных громкоговорителей вызвано тем, что практически трудно создать простой громкоговоритель, который одинаково хорошо бы воспроизводил как самые нижние, так и самые верхние звуковые частоты. Помимо этого, при работе такого громкоговорителя неизбежно бы появились интермодуляционные искажения (модуляция верхних звуковых частот нижними), что значительно ухудшало бы качество воспроизведения.

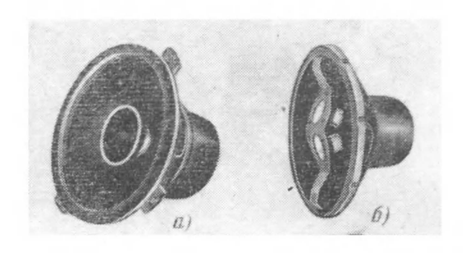


Рис. 4. Коаксиальные громкоговорители.
а — из двух электродинамических громкоговорителей; *б* — из трех электродинамических громкоговорителей.

Два варианта конструкции коаксиального громкоговорителя показаны на рис. 4. В первом варианте (рис. 4, *а*) высокочастотный громкоговоритель небольших размеров прикреплен к керну магнитной системы основного громкоговорителя, воспроизводящего нижние и средние частоты. Во втором варианте (рис. 4, *б*) внутри диффузора основного громкоговорителя для обеспечения более равномерной частотной характеристики на верхних частотах при широкой диаграмме направленности с помощью специального кронштейна закреплены два высокочастотных громкоговорителя.

АКУСТИЧЕСКИЕ АГРЕГАТЫ

Если два или несколько различных по характеристикам простых громкоговорителей поместить в один футляр, то такая система называется акустическим агрегатом или звуковой колонкой.

Футляр акустического агрегата может быть выполнен глухим с закрытой задней стенкой либо с фазоинвертором. Разделение диапазона звуковых частот на полосы и подведение к различным громкоговорителям (или группам громкоговорителей) определенной полосы частот осуществляются с помощью разделительных фильтров, которые чаще всего размещают внутри футляра агрегата.

В футляре с закрытой задней стенкой устраняется возможность излучения в пространство обратной стороной диффузора. Упругость воздуха внутри такого футляра повышает частоту механического резонанса громкоговорителя, и, чтобы снизить ее до требуе-

мой величины, приходится увеличивать объем футляра или применять громкоговоритель с более низкой частотой механического резонанса. Для улучшения равномерности частотной характеристики акустического агрегата внутренние стенки футляра обычно обивают звукопоглощающим материалом (войлоком, фильцем, ватой и др.).

Футляр-фазоинвертор отличается от футляра с закрытой задней стенкой тем, что в нем на лицевой панели или одной из боковых стенок имеется отверстие для фазоинверсии. Размеры и форму футляра и отверстия обычно подбирают с таким расчетом, чтобы резонансная частота подвижной системы громкоговорителя (обычно низкочастотного) совпадала с резонансной частотой объема футляра с выходным отверстием для фазоинверсии или была несколько выше ее. В этом случае излучение из фазоинверсного отверстия на частотах выше резонансной будет происходить почти в той же фазе, что и излучение передней стороной диффузора. Благодаря этому воспроизведение нижних звуковых частот улучшается, а частотная характеристика акустического агрегата в целом выравнивается. Для ослабления влияния низкочастотного громкоговорителя на громкоговорители верхних и средних звуковых частот и устранения интермодуляционных искажений их обычно помещают в отдельный отсек или закрывают экраном, создающим замкнутый объем за диффузором. Возникающие иногда в таких акустических агрегатах вибрации стенок футляра можно устранить путем изготовления их из толстых досок или обивкой внутри демпфирующим материалом.

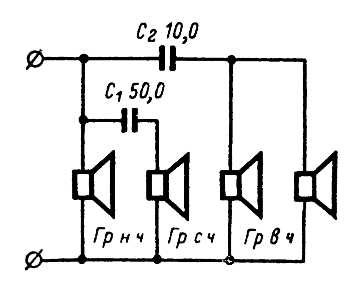


Рис. 5. Схема включения громкоговорителей.

В акустических агрегатах размеры громкоговорителей, их расположение на лицевой панели, а иногда и расстояние между ними подбирают с таким расчетом, чтобы характеристика направленности излучения была бы наиболее равномерной и не создавалось бы впечатления двух или нескольких источников звука.

Рассмотрим в качестве примера устройство одного из акустических агрегатов, состоящего из четырех громкоговорителей. В верхней части агрегата под углом к лицевой панели установлено два высокочастотных громкоговорителя мощностью 1 *вт* с диффузорами диаметром 65 *мм* каждый. Эти громкоговорители воспроизводят полосу звуковых частот от 1 600 до 18 000 *гц*. Ниже под экраном помещен трехваттный громкоговоритель с диффузором диаметром 128 *мм*, воспроизводящий полосу звуковых частот от 150 до 10 000 *гц*. Однако наличие глухого экрана изменяет частотную характеристику громкоговорителя, и он в данном акустическом агрегате эффективно воспроизводит лишь частоты выше 500 *гц*. Еще ниже расположен 15-ваттный громкоговоритель с диффузором диаметром 310 *мм*, который воспроизводит полосу частот от 30 до 10 000 *гц*. Под этим громкоговорителем сделано окно фазоинверсии. Схема включения громкоговорителей приведена на рис. 5. Рассматриваемый акустический агрегат эффективно воспроизводит полосу звуковых частот от 30 до 18 000 *гц*.

Попутно отметим, что если акустический агрегат установить в углу помещения, то эффективность воспроизведения нижних звуковых частот может возрасти на 6—10 *дб*.

Приведенное расположение громкоговорителей в футляре не единственно возможное. Так, например, в другом акустическом агрегате, лицевая панель которого показана на рис. 6, *а*, также использовано четыре громкоговорителя, но размещены они иначе, а сам футляр не имеет фазоинверсного отверстия. На рис. 6, *б* показана лицевая панель еще одного акустического агрегата, где четыре высокочастотных громкоговорителя с диффузором диаметром 67 *мм* каждый размещены в углах панели. В качестве низкочастотного использован громкоговоритель с диффузором диаметром 194 *мм*, а в качестве среднечастотного — эллиптический громкоговоритель с осями 125×175 *мм*. Размер лицевой панели 630×360 *мм*. Акустический агрегат рассчитан на работу с усилителем мощностью 30 *вт* при эффективно воспроизводимой полосе частот от 40 до 20 000 *гц*.

Отличительная особенность еще одного акустического агрегата, также состоящего из шести громкоговорителей (рис. 6, *в*), — наличие переключателя, с помощью которого можно изменять частотные характеристики акустического агрегата. Электрическая схема включения громкоговорителей приведена на рис. 6, *д*. Здесь к громкоговорителю нижних звуковых частот $Гр_1$, включенному через LC-фильтр, состоящий из дросселя $Др_1$ и конденсатора C_1, подводятся только нижние звуковые частоты (до 800 *гц*). Громкоговоритель средних частот $Гр_2$ включен также через LC-фильтр, в который входят дроссель $Др_3$ и конденсатор C_3. Ограничение полосы снизу происходит с помощью фильтра $Др_2C_2$. Однако с помощью переключателей $П_1$ и $П_2$ можно изменять уровень воспроизведения этого громкоговорителя. Показанное на рис. 6, *д* положение этих переключателей соответствует линейной частотной характеристике. При включении переключателя $П_1$ звуковое напряжение к громкоговорителю $Гр_2$ подводится через делитель напряжения R_1R_2 (каждый из этих резисторов мощностью по 5 *вт*) и в частотной характеристике воспроизведения образуется «завал» в области 1 000—5 000 *гц*. При включении переключателя $П_2$ замыкается накоротко резистор R_1, напряжение звуковой частоты на громкоговорителе $Гр_2$ увеличивается и в частотной характеристике воспроизведения образуется подъем на этих же частотах. К громкоговорителям верхних звуковых частот $Гр_3$—$Гр_6$ напряжение подводится через третий LC-фильтр, состоящий из дросселя $Др_4$ и конденсаторов C_4 и C_5. Переключатель $П_3$ здесь также показан в положении, когда частотная характеристика воспроизведения линейна. При переводе этого переключателя в другое положение дроссель $Др_4$ отключается, а конденсатор C_5 закорачивается, что приводит к образованию подъема частотной характеристики на частотах выше 5 000 *гц*. Фильтры этого акустического агрегата обеспечивают затухание за пределами полосы пропускания с крутизной 12 *дб* на октаву.

В этом акустическом агрегате, имеющем размеры футляра 850×540×330 *мм* (без ножек), установлен низкочастотный громкоговоритель с диаметром диффузора 300 *мм*, громкоговоритель средних частот с диаметром диффузора 170 *мм* и четыре высокочастотных громкоговорителя с диаметром диффузора 67 *мм* каждый. Диффузор низкочастотного громкоговорителя не имеет гофра и соединен с диффузородержателем при помощи каучукового манжета. Громкоговоритель средних частот огорожен внутри футляра дере-

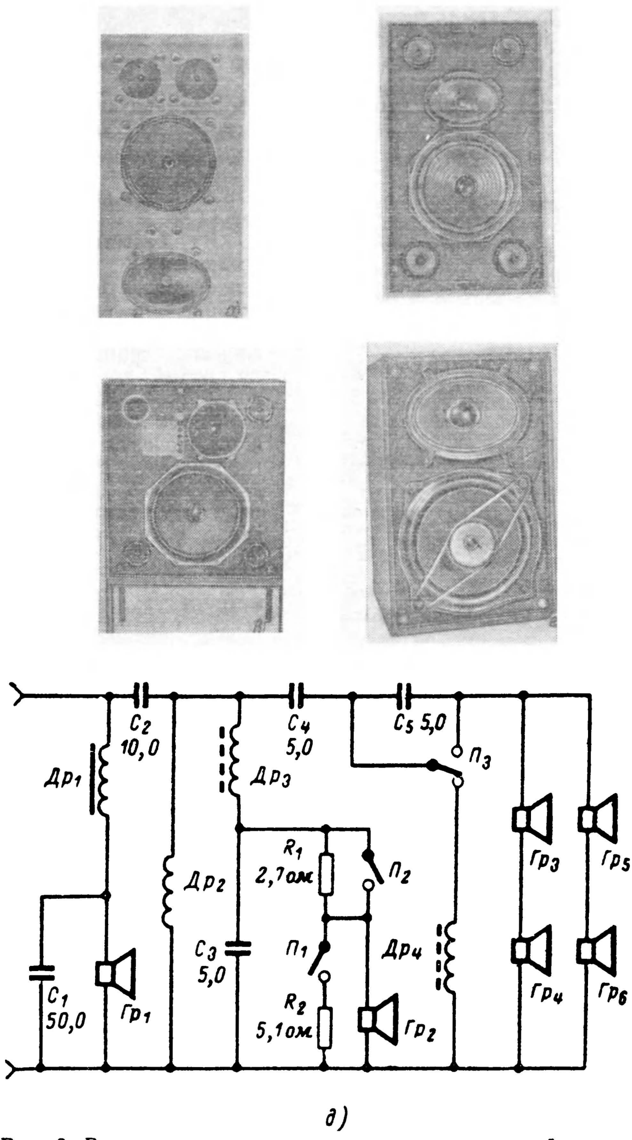


Рис. 6. Варианты расположения громкоговорителей в акустических агрегатах.

а — при четырех громкоговорителях; *б* и *в* — при шести громкоговорителях, *г* — с коаксиальным громкоговорителем; *д* — электрическая схема включения громкоговорителей акустического агрегата, показанного на рис. *б*, *в*.

вянными перегородками, которые ослабляют влияние на него излучения обратной стороны диффузора нижнечастотного громкоговорителя. Громкоговорители верхних звуковых частот помещены в глухие металлические экраны.

Акустический агрегат рассчитан на минимальную подводимую мощность 40 *вт* при максимальной мощности 50 *вт*. Он эффективно воспроизводит полосу звуковых частот от 35 до 20 000 *гц* при неравномерности 14 *дб*.

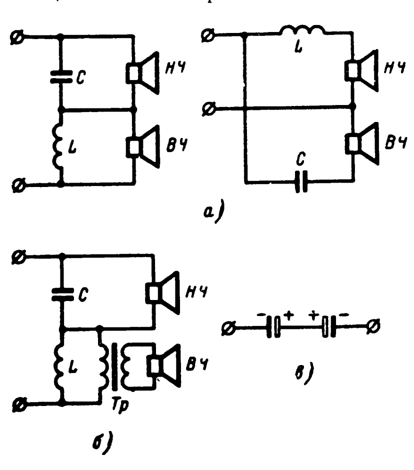


Рис. 7. Схемы включения громкоговорителей при помощи разделительных фильтров.

а — схема разделительных фильтров; *б* — схема включения согласующего трансформатора; *в* — включение электролитических конденсаторов.

В качестве примера оригинальной конструкции может служить агрегат, показанный на рис. 6, *г*. Здесь удачно использован коаксиальный громкоговоритель, состоящий из низкочастотного громкоговорителя с диаметром диффузора 215 *мм* и высокочастотного громкоговорителя с диаметром диффузора 65 *мм*. Благодаря этому удалось существенно сократить габариты акустического агрегата (460×270×140 *мм*) без заметного ухудшения акустических параметров (полоса эффективно воспроизводимых звуковых частот от 40 до 18 000 *гц*; подводимая звуковая мощность 20 *вт*).

Для работы сложных акустических агрегатов необходимо весь диапазон звуковых частот разделить на полосы и подводить к каждому громкоговорителю (или группе громкоговорителей) определенную полосу частот, что уменьшает интермодуляционные искажения. Для этого обычно используют разделительные фильтры. Простейший разделительный фильтр может быть составлен из последовательно включенных конденсатора и звуковой катушки громкоговорителя. Схема такого фильтра была приведена на рис. 5, где последовательно с громкоговорителем средних звуковых частот включен конденсатор C_1, а последовательно с громкоговорителями верхних звуковых частот — конденсатор C_2. Емкость разделительного конденсатора $C_р$ можно вычислить по формуле

$$C_р = \frac{159 \cdot 10^3}{f_0 z_{гр}}, \text{ мкф},$$

где f_0 — частота раздела, *гц*; $z_{гр}$ — полное электрическое сопротивление звуковой катушки громкоговорителя (или группы громкоговорителей) на частоте раздела, *ом*.

Здесь, однако, следует учитывать, что подключать к одной общей обмотке выходного трансформатора можно громкоговорители только с одинаковыми или близкими по величине полными электри-

ческими сопротивлениями звуковых катушек. При значительном их различии (в 2—4 раза) более низкоомные громкоговорители следует подключать к части витков вторичной обмотки выходного трансформатора или сделать для них самостоятельную обмотку (подробно об этом будет рассказано ниже при рассмотрении схем усилителей).

Более сложный, но и позволяющий получить лучшие результаты разделительный фильтр можно составить из конденсатора и дросселя. На рис. 7, *а* приведены две схемы включения такого фильтра, причем первая дает лучшие результаты. Обе схемы обеспечивают затухание около 6 *дб* на октаву за частотой раздела; для большинства практических случаев такого ослабления оказывается вполне достаточно. Вычислить емкость конденсатора фильтра C можно по предыдущей формуле, а индуктивность дросселя L из выражения

$$L = \frac{0,159\, z_{гр}}{f_0}, \text{ гн.}$$

Частоту раздела f_0 для двухполосного акустического агрегата обычно выбирают в пределах от 800 до 5 000 *гц* (в зависимости от типов примененных громкоговорителей). При разделении диапазона звуковых частот, воспроизводимых акустическим агрегатом, на три полосы частоты раздела полос обычно выбирают в районе 500—800 *гц* и 4 000—5 000 *гц*.

Если полные электрические сопротивления звуковых катушек громкоговорителей (или групп громкоговорителей), работающих в различных полосах, различны, то можно применить схему, показанную на рис. 7, *б*. Коэффициент трансформации согласующего трансформатора *Тр* можно определить из выражения

$$n = \sqrt{\frac{z_н}{z_в}},$$

где $z_н$ и $z_в$ — полные электрические сопротивления низкочастотного и высокочастотного громкоговорителей или групп громкоговорителей, *ом*.

Катушки дросселей разделительных фильтров желательно выполнять без сердечников из стальных пластин, так как применение последних хотя и уменьшает габариты дросселя, но может быть причиной увеличения нелинейных искажений. Активное сопротивление дросселя должно быть в 10—15 раз меньше сопротивления звуковой катушки громкоговорителя, включенного параллельно или последовательно с дросселем.

В разделительных фильтрах лучше использовать бумажные конденсаторы, рассчитанные на низкое рабочее напряжение (до 100 *в*). Однако при большой требуемой емкости применение бумажных конденсаторов может оказаться невозможным из-за больших их размеров. В этом случае можно воспользоваться электролитическими конденсаторами, включив их согласно рис. 7, *в*. При таком включении емкость каждого конденсатора должна быть взята в 2 раза больше расчетной.

Глава вторая

АКУСТИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ

В зависимости от назначения аппаратуры и предъявляемых к ней требований акустическая система может состоять из одного или группы громкоговорителей, находиться в самом аппарате или быть вынесенной в отдельное устройство, может быть помещена в один или несколько акустических объемов. Качественные показатели акустической системы зависят от параметров громкоговорителей, мест их расположения, а также от сочетания тех или иных групп громкоговорителей с целью обеспечения высококачественного воспроизведения различных программ. Немалую роль играют конструкция и материал футляра акустической системы, однако это не входит в тему книги и потому рассматриваться не будет.

ПРОСТЫЕ АКУСТИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ

Простейшая акустическая система, состоящая из электродинамического громкоговорителя и футляра, до недавнего времени была наиболее распространена в радиолюбительских конструкциях. Качество звучания такой акустической системы зависит в основном от правильного выбора соотношения между размерами и параметрами громкоговорителя и габаритами футляра.

Акустическая система с одним громкоговорителем имеет наибольшее распространение в транзисторных малогабаритных и переносных приемниках. В этом случае размеры и форму отверстия для громкоговорителя, а также элементы внешнего оформления (декоративные решетки, драпировочную ткань и т. п.) подбирают с таким расчетом, чтобы они не вносили искажений в частотную характеристику громкоговорителя. Если диффузор громкоговорителя оказывается частично закрытым акустическим экраном, то в частотной характеристике появляются пики и провалы, искажающие верность воспроизведения. Когда диффузородержатель громкоговорителя закрыт монтажом или платой аппарата, частота механического резонанса громкоговорителя повышается и нижняя граница эффективно воспроизводимой полосы передвигается в область более высоких звуковых частот. Одновременно увеличиваются и нелинейные искажения. Поэтому акустическая система, состоящая из одиночного громкоговорителя, требует тщательного конструирования аппарата.

В стационарных радиовещательных приемниках, имеющих деревянный или пластмассовый футляр, одиночный громкоговоритель располагают на фронтальной панели, сдвинув несколько в сторону от центра и закрыв его декоративной решеткой или драпировочной тканью. Для повышения эффективности воспроизведения нижних частот рекомендуется применять громкоговорители с диаметром диффузора от 100 до 200 *мм* или эллиптические тех же примерно размеров с частотой механического резонанса 100—140 *гц*.

Конечно, немалую роль будет играть и электрический тракт приемника, который должен пропускать ту же полосу частот, что и громкоговоритель. Кроме того, для улучшения качества звучания необходимо скорректировать частотную характеристику акустической системы. Например, если громкоговоритель имеет на каком-

либо участке характеристики провал, охватывающий значительную полосу частот, то низкочастотный тракт приемника должен иметь на этом участке частотной характеристики подъем.

В отечественных приемниках довольно часто применяют акустическую систему с двумя однотипными электродинамическими круглыми или эллиптическими громкоговорителями, установленными на передней стенке футляра и работающими синфазно. Такая акустическая система несколько расширяет диапазон звучания в области

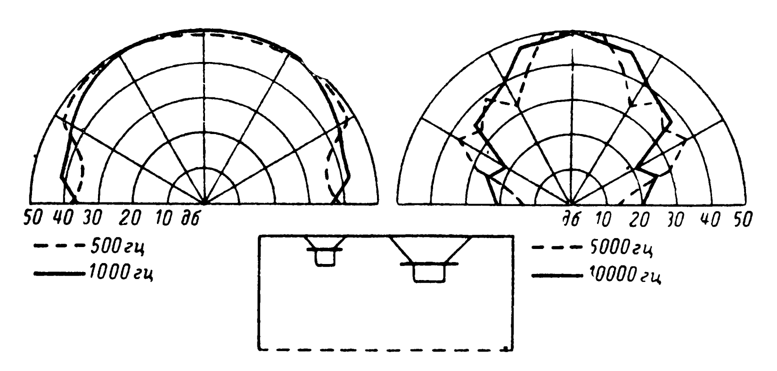


Рис. 8. Расположение громкоговорителей в футляре приемника и диаграммы направленности излучения акустической системы, состоящей из двух различных громкоговорителей.

нижних звуковых частот и уменьшает неравномерность частотной характеристики приемника. Помимо того, она дает возможность использовать громкоговорители небольших размеров (с диаметром диффузора 100—150 *мм*).

Для улучшения качественных показателей такой акустической системы следует применять громкоговорители с частотами механического резонанса, различающимися на 30—50 *гц*. Благодаря этому пики и провалы в частотной характеристике одного громкоговорителя попадают между пиками и провалами в частотной характеристике другого громкоговорителя и компенсируют их. В результате неравномерность частотной характеристики акустической системы получается меньше, чем это имеет место у одиночного громкоговорителя.

Важную роль играет расположение громкоговорителей на передней стенке. Экспериментально установлено, что наилучшие результаты получаются в том случае, когда громкоговорители сдвинуты к одной из боковых стенок футляра (расположены несимметрично), а расстояние между краями диффузородержателей находится в пределах от 30 до 40 *мм*.

В зарубежных приемниках широко использовалась акустическая система, состоящая из двух громкоговорителей различных типов. В качестве основного здесь обычно применялся круглый электродинамический громкоговоритель с диаметром диффузора 180—250 *мм* или эллиптический с осями 180×210 *мм* и больше, рассчитанный в основном на воспроизведение нижних и средних звуковых

частот. Дополнительным громкоговорителем, как правило высокочастотным, выбирался либо электродинамический громкоговоритель с диаметром диффузора 60—100 *мм*, либо электростатический или пьезоэлектрический громкоговоритель. Основной громкоговоритель может быть широкополосным; в этом случае добавление высокочастотного громкоговорителя несколько расширяет диаграмму направленности излучения на верхних частотах. На рис. 8 показано расположение громкоговорителей в футляре одного из таких приемников и приведены диаграммы направленности излучения его акустической системы.

Акустическая система из двух различных громкоговорителей хотя и улучшает качество звучания приемника, естественного воспроизведения все же не дает. Подчеркивание верхних и нижних звуковых частот, воспроизводимых двумя различными громкоговорителями, придает звучанию приемника холодный, металлический оттенок. Несколько лучшие результаты дает введение третьего — среднечастотного громкоговорителя.

АКУСТИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ ОБЪЕМНОГО ЗВУЧАНИЯ

Применение нескольких громкоговорителей, установленных на передней стенке приемника, улучшает его акустические параметры, но впечатление, что звук исходит из одной точки, сохраняется. Происходит это потому, что на верхних звуковых частотах (выше 1 500—2 000 *гц*) приемник имеет довольно ярко выраженную направленность излучения. Действительно, если взглянуть на рис. 8, то можно видеть, что нижние звуковые частоты (500 и 1 000 *гц*) излучаются почти равномерно в пределах ±90° от осевой линии громкоговорителей, а верхние (5 000 и 10 000 *гц*) — ослабляются почти на 30 *дб*.

В результате многочисленных исследований было найдено несколько вариантов такого расположения громкоговорителей, при котором диаграмма направленности излучения на верхних частотах резко расширяется. Такие акустические системы получили название систем объемного звучания.

На рис. 9, *а* показано расположение громкоговорителей в футляре одного из приемников. Для получения эффекта объемности звучания здесь использованы три громкоговорителя: один — основной, расположенный на лицевой панели футляра, и два дополнительных, установленных на его боковых стенах. Основной громкоговоритель должен излучать только нижние и средние частоты, а боковые — только верхние, которые, отражаясь от стен, окон и мебели комнаты, рассеиваются во все стороны, создавая тем самым эффект объемности. Комната как бы кажется наполненной музыкой; направленность звучания сглаживания (рис. 9, *б*), а сам источник звука кажется намного шире приемника.

На рис. 10, *а* показано расположение громкоговорителей и приведены диаграммы направленности излучения акустической системы, состоящей из трех электродинамических громкоговорителей. Здесь дополнительные громкоговорители верхних частот расположены под углом 60° к основному. Это привело к еще большему выравниванию характеристики направленности излучения на верхних частотах.

В другой акустической системе объемного звучания (рис. 10, *б*) использованы четыре громкоговорителя: два основных электродина-

мических и два дополнительных электростатических. Дополнительные громкоговорители верхних звуковых частот установлены на лицевой панели футляра, а основные расположены под углом 45° к ней. Звук от основных громкоговорителей проходит как через отверстия в передней стенке, так и через прорези в боковых стенках футляра. В этом случае основные громкоговорители должны излучать всю полосу воспроизводимых частот.

Акустическая система объемного звучания, состоящая из пяти громкоговорителей, показана на рис. 10, *в*. В ней на передней стенке установлен эллиптический электродинамический громкоговоритель с осями 180×210 *мм*, воспроизводящий нижние и средние звуковые

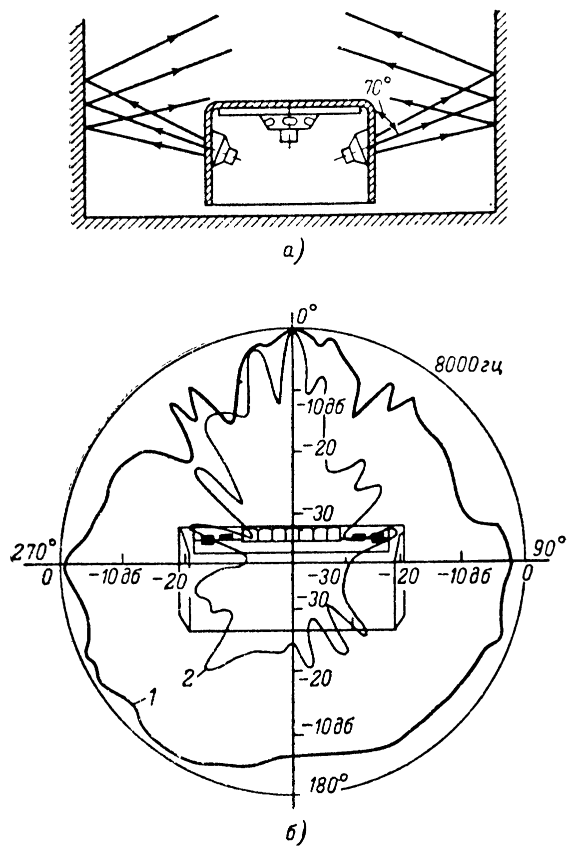


Рис. 9. Акустическая система объемного звучания с тремя громкоговорителями.

а — расположение громкоговорителей в футляре; *б* — диаграммы направленности излучения на частоте 8 000 *гц* (*1* — при трех громкоговорителях; *2* — при одном фронтальном громкоговорителе).

частоты. Там же, но под углом 30° к основному громкоговорителю, помещены два электростатических громкоговорителя верхних частот. На боковых стенках футляра под углом 60° к передней стенке расположены два электродинамических громкоговорителя с диффузором диаметром 100 *мм* каждый, излучающих верхние и средние звуковые частоты.

В акустической системе объемного звучания, приведенной на рис. 10, *г*, применено шесть громкоговорителей. Здесь на передней

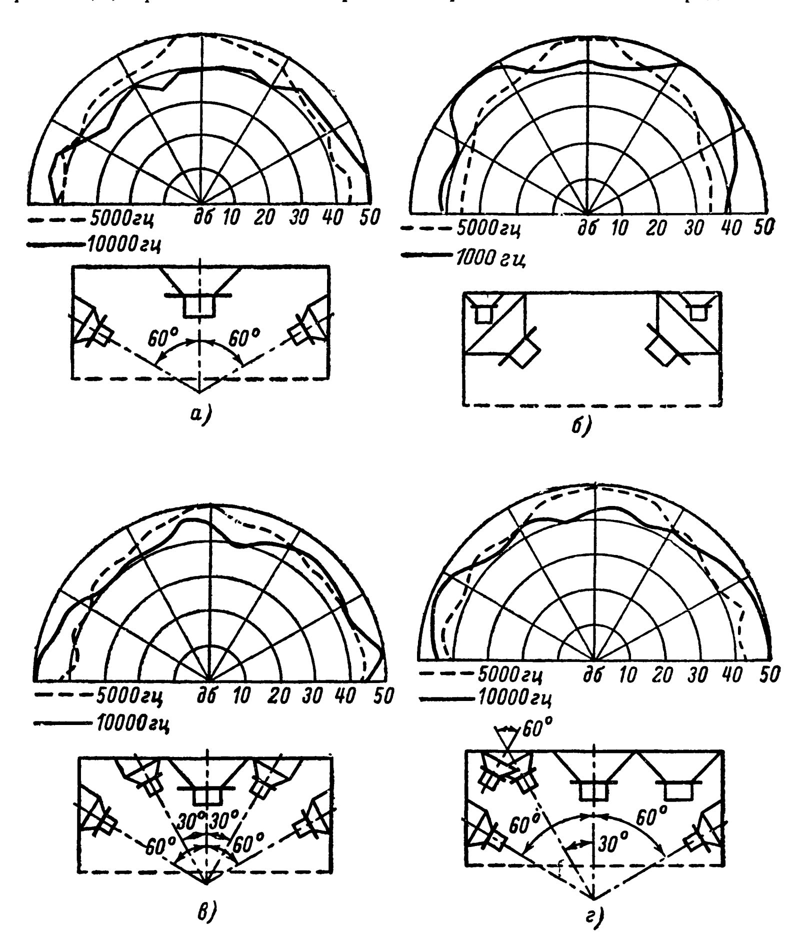


Рис. 10. Расположение громкоговорителей в футляре приемника и диаграммы направленности излучения акустической системы объемного звучания.

а — при трех громкоговорителях; *б* — при четырех громкоговорителях; *в* — при пяти громкоговорителях; *г* — при шести громкоговорителях.

стенке расположены два основных эллиптических электродинамических громкоговорителя с осями 180×210 *мм* и два громкоговорителя верхних частот с диффузором диаметром 70 *мм* каждый, установленных под углом 60° один по отношению к другому. На боковых стенках футляра помещены электродинамические громкоговорители с диффузором диаметром 100 *мм*, излучающие средние и верхние частоты звукового диапазона.

Приведенные варианты расположения громкоговорителей не следует принимать как обязательные. Так, в выпускавшихся ранее отечественных радиолах «Люкс» и «Дружба» была принята акустическая система объемного звучания, состоящая из четырех громкоговорителей, но расположены они были не так, как показано на рис. 10, *б*. В этих радиолах в качестве основных были использованы эллиптические громкоговорители типа 5ГД-14 с осями 170×260 *мм*, расположенные на передней стенке. Дополнительные верхнечастотные громкоговорители, также эллиптические типа 1ГД-9 с осями 98×156 *мм*, помещены на боковых стенках футляра. Такая акустическая система воспроизводила диапазон звуковых частот от 60 до 12 000 *гц* при неравномерности частотной характеристики до 14 *дб* и звуковом давлении до 1,5 *н/м²*. Неравномерность характеристики направленности излучения при угле поворота ±90° не превышала 15 *дб*.

Четыре громкоговорителя были установлены и в приемнике «Фестиваль», но в нем на передней стенке расположены основной громкоговоритель, воспроизводящий нижние и средние звуковые частоты, и громкоговоритель верхних звуковых частот. На боковых же стенках футляра были установлены громкоговорители, воспроизводящие средние и верхние частоты звукового диапазона.

Пять громкоговорителей имела акустическая система объемного звучания приемника «Беларусь-57». Отличается она от акустической системы радиол «Люкс» и «Дружба» лишь тем, что в ней на передней стенке между основными громкоговорителями помещен третий верхнечастотный громкоговоритель.

Шесть громкоговорителей можно расположить и иначе, чем это показано на рис. 10, *г*. Например, на передней стенке можно установить основные громкоговорители, воспроизводящие нижние и средние частоты звукового диапазона, а между ними поместить один под другим два дополнительных высокочастотных громкоговорителя (угол между последними должен быть равен 60°). На боковых стенках футляра в этом случае размещают громкоговорители, воспроизводящие верхние и средние звуковые частоты.

Из характеристик направленности излучения акустических систем объемного звучания, приведенных на рис. 10, видно, что с увеличением числа громкоговорителей неравномерность излучения верхних звуковых частот становится меньшей. Это, конечно, приводит к повышению естественности воспроизведения музыкальных программ.

Все сказанное выше показывает, что на качество воспроизведения влияет как расположение громкоговорителей в его футляре, так и их количество. К этому следует добавить, что на характеристику направленности излучения в области верхних звуковых частот влияет и угол поворота дополнительных высокочастотных громкоговорителей по отношению к основным низкочастотным громкоговорителям. Чем больше угол между ними, тем шире получается диа-

грамма направленности излучения на верхних звуковых частотах и меньше ее неравномерность.

Большую роль здесь играет и ширина диаграммы направленности излучения самих дополнительных громкоговорителей: чем шире эта диаграмма, тем меньшую неравномерность будет иметь характеристика направленности излучения всей акустической системы.

Однако установить три и больше громкоговорителей можно лишь в футляре приемника значительных размеров (во всяком слу-

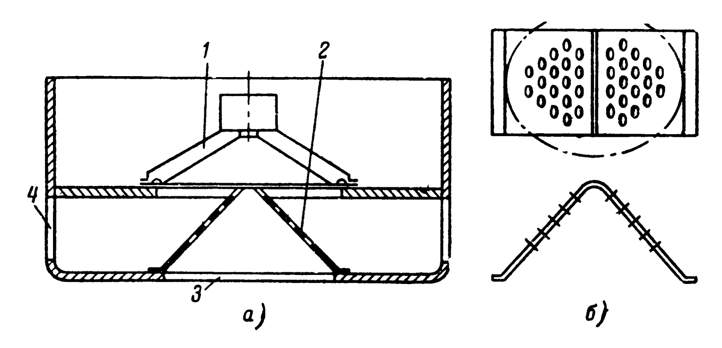


Рис. 11. Устройство акустической системы объемного звучания с одним громкоговорителем.

а — расположение громкоговорителя и распределителя звука в футляре приемника; *б* — устройство распределителя звука.

чае не меньше, чем 500×300×400 *мм*). А как же улучшить качество воспроизведения приемников, футляр которых имеет значительно меньшие размеры?

Многочисленные эксперименты показали, что добиться эффекта объемности звучания можно и с меньшим числом громкоговорителей. Так, в одном из приемников были использованы два круглых электродинамических громкоговорителя диаметром диффузора по 220 *мм* каждый, установленные под углом 70° один относительно другого. При этом звук, излучаемый этими громкоговорителями, включенными синфазно, проходил как через отверстия в передней стенке, так и через вырезы в боковых стенках футляра. Для воспроизведения более широкого диапазона звуковых частот, а также для получения лучшей характеристики направленности излучения были применены двухдиффузорные громкоговорители. Подобная акустическая система объемного звучания получила название «расположение громкоговорителей на большом экране». Однако в некоторых приемниках на передней или боковых стенках футляра дополнительно устанавливают один или несколько электродинамических или электростатических громкоговорителей, рассчитанных на воспроизведение только верхних частот.

Но оказалось, что два громкоговорителя тоже не предел. Дальнейшие эксперименты доказали возможность получения эффекта объемности звучания всего лишь с одним громкоговорителем, если применять специальное устройство — распределитель звука (рис. 11, *а*). В этом случае на доске, которая помещена внутри

футляра, устанавливают широкополосный эллиптический двухдиффузорный громкоговоритель *1*. Перед ним помещают распределитель звука *2*, выполненный в виде изогнутой под углом перфорированной полосы металла (рис. 11, *б*). Звуковые колебания, излучаемые громкоговорителем, проходят сквозь отверстия в распределителе звука к окну *3* в передней стенке футляра, а также, отражаясь от стенок распределителя, попадают наружу через окна *4* в боковых стенках футляра. Для получения наименьшей неравномерности характеристики необходимо правильно выбрать угол перегиба распределителя звука, так, чтобы отраженные от него звуковые колебания были бы направлены только через окна в боковых стенках футляра.

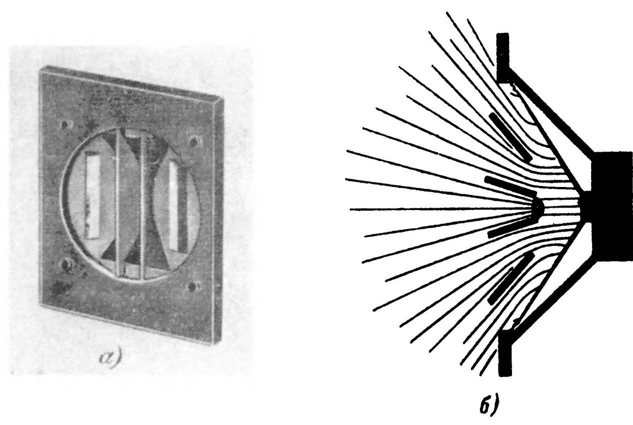


Рис. 12 Распределитель звука, предназначенный для установки на боковой стенке футляра приемника.

а — внешний вид: *б* — схема действия.

Задачу получения эффекта объемности звучания с одним громкоговорителем можно решить и иначе. Можно на передней панели футляра установить эллиптический громкоговоритель, к задней стороне которого прикрепить два отражателя из гетинакса, направляющих излучаемые обратной стороной диффузора звуковые колебания через отверстия в боковых стенках футляра, где установлены распределители звука.

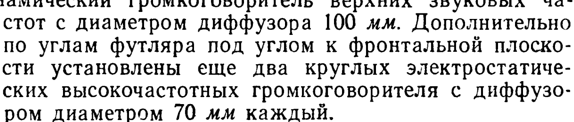
Мы уже говорили, что для получения эффекта объемности звучания необходимо обеспечить ненаправленное излучение верхних звуковых частот. Для этой цели применяют различного рода распределители звука, устанавливая их непосредственно перед высокочастотными громкоговорителями. На рис. 12 показаны внешний вид и принцип действия одного из таких распределителей.

В некоторых случаях для улучшения качества звучания приемника высокочастотные громкоговорители, устанавливаемые на боковых стенках футляра, помещают в специальные акустические камеры (резонаторы), изготовленные из тонкой фанеры (рис. 13). Электродинамический громкоговоритель, помещенный внутри такой каме-

ры перед верхним отверстием в боковой стенке футляра, излучает сквозь это отверстие главным образом верхние звуковые частоты. Через нижнее же отверстие в боковой стенке проходят совпадающие по фазе средние частоты звукового диапазона, излучаемые обратной стороной диффузора. Введение таких камер заметно улучшает качество воспроизведения приемником музыкальных программ, приближая его к наиболее естественному, а также повышает звуковое давление, развиваемое акустической системой. Следует, однако, отметить, что положительные результаты с такой акустической системой можно получить лишь в том случае, если правильно будут выбраны объем камеры и размер (площадь) отверстий, в особенности нижнего.

Совершенно иначе построена другая акустическая система объемного звучания. От акустических систем объемного звучания, описанных ранее, она отличается тем, что дополнительные высокочастотные громкоговорители в ней располагают под верхней панелью футляра на специальной резонирующей планке (рис. 14, *а*). Сам футляр между верхней панелью и резонирующей планкой имеет по всему периметру вырезы, закрытые снаружи декоративной сеткой. Помимо этого, под верхней панелью перед диффузором центрального громкоговорителя, воспроизводящего верхние звуковые частоты, установлен специальный конус, который рассеивает звуковые колебания, излучаемые этим громкоговорителем.

Верхние и средние звуковые частоты, излучаемые вверх центральным громкоговорителем, а в некоторых моделях еще и боковыми громкоговорителями, проходят сквозь прорези в футляре и радиально распространяются во всех направлениях почти равномерно. Кроме того, благодаря наличию между верхней панелью и резонирующей планкой пустого пространства к. п. д. акустической системы повышается, особенно на верхних и средних звуковых частотах (800—8 000 *гц*). В этой системе в качестве основного был использован эллиптический электродинамический громкоговоритель с осями 210×320 *мм*. На резонирующей планке расположен круглый электродинамический громкоговоритель верхних звуковых частот с диаметром диффузора 100 *мм*. Дополнительно по углам футляра под углом к фронтальной плоскости установлены еще два круглых электростатических высокочастотных громкоговорителя с диффузором диаметром 70 *мм* каждый.



Характеристика направленности излучения приемника с такой акустической системой получается почти кругообразной не только в горизонтальной плоскости, но и в вертикальной (рис. 14, *б*). Аналогичная акустическая система от описанной отличается тем, что громкоговоритель верхних звуковых частот установлен не на резонирующей планке, а непосредственно на верхней панели футляра. В этом случае окно в верхней панели покрывается пластмас-

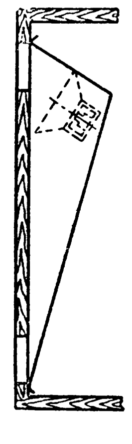
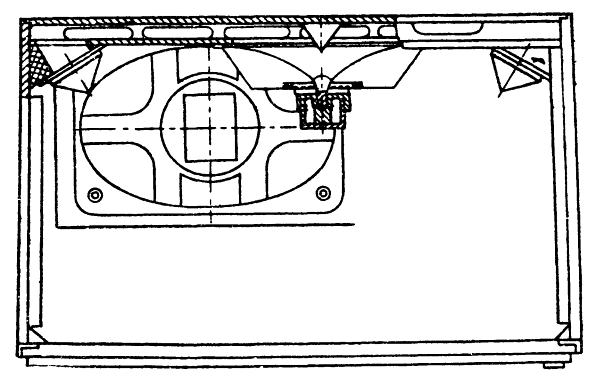
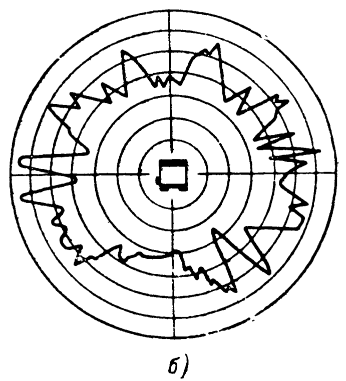


Рис. 13. Схема устройства акустической камеры-резонатора.



а)



б)

Рис. 14. Расположение громкоговорителей в футляре приемника и диаграмма направленности излучения акустической системы объемного звучания с радиальным расположением высокочастотного громкоговорителя.

а — расположение громкоговорителей в футляре; *б* — диаграмма направленности излучения в вертикальной плоскости.

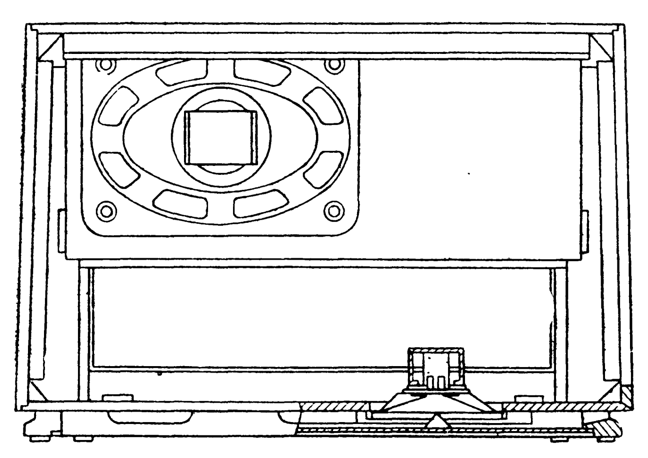


Рис. 15. Акустическая система объемного звучания с радиальным расположением высокочастотного громкоговорителя на дне футляра.

совым наличником (решеткой), который предохраняет громкоговоритель от возможного повреждения и одновременно выполняет функцию распределителя звука.

В дальнейшем эта акустическая система объемного звучания претерпела некоторые изменения. Дополнительный высокочастотный громкоговоритель стали устанавливать не на резонирующей планке в верхней части футляра, а непосредственно на шасси, расположив его диффузором вниз (рис. 15). Звуковые колебания, излучаемые этим громкоговорителем, проходят сквозь отверстие в дне футляра и, отражаясь от поверхности предмета, на котором установлен приемник, распространяются во все стороны. Чтобы обеспечить радиальное распространение звуковых колебаний, футляр приемника должен иметь либо прорези в нижней части, либо довольно высокие ножки, при помощи которых между футляром приемника и предметом, на котором он установлен, образуется необходимое пространство.

ВЫНОСНЫЕ АКУСТИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ

Описанные в предыдущем параграфе акустические системы объемного звучания обладают одним существенным недостатком, заключающимся в том, что эффект объемности звучания их не всегда проявляется достаточно отчетливо. Объясняется это невозможностью обеспечить в любом помещении при любом расположении приемника в помещении одинаковое распределение звуковых колебаний, излучаемых боковыми громкоговорителями.

После тщательных исследований и многочисленных экспериментов было установлено, что указанный выше недостаток можно устранить, если вынести высокочастотные громкоговорители из футляра приемника и поместить их отдельно. Так появились выносные акустические системы объемного звучания.

Поместив высокочастотные громкоговорители вне футляра приемника, всегда удается подобрать такое их расположение в комнате, при котором эффект объемности звучания проявляется наиболее полно. При этом, однако, не всегда нужно выносить из футляра оба громкоговорителя; в большинстве случаев бывает достаточно вынести только один из них.

Если, например, приемник помещен в углу комнаты или около предмета, загораживающего один из боковых громкоговорителей, то добавлением выносного громкоговорителя вместо закрытого бокового удается добиться эффекта объемности звучания.

Некоторые приемники с акустической системой объемного звучания имеют гнезда для подключения дополнительных высокочастотных выносных громкоговорителей, прилагаемых к приемнику или продаваемых отдельно. При включении такого громкоговорителя соответствующий ему боковой громкоговоритель, установленный в футляре приемника, отключается.

Важно, чтобы выносные громкоговорители были помещены на примерно равном расстоянии от приемника и были направлены в ту часть комнаты, где наиболее удобно слушать передачи и где обычно располагаются слушатели, причем эта часть комнаты должна быть не ближе 1,5—2 *м* от приемника. Различные варианты расположения выносных громкоговорителей должны подбираться опытным путем, и дать какие-либо рекомендации заранее трудно.

Вынесение высокочастотных громкоговорителей из футляра приемника значительно повышает качественные показатели акусти-

ческой системы, позволяет наилучшим образом и в любом помещении получить эффект объемности звучания и добиться большой верности воспроизведения различных программ. Примером этого может служить выпускавшаяся ранее радиола «Эстония-2», которая превосходила по качеству звучания все другие отечественные приемники и радиолы того времени, имевшие настольное оформление.

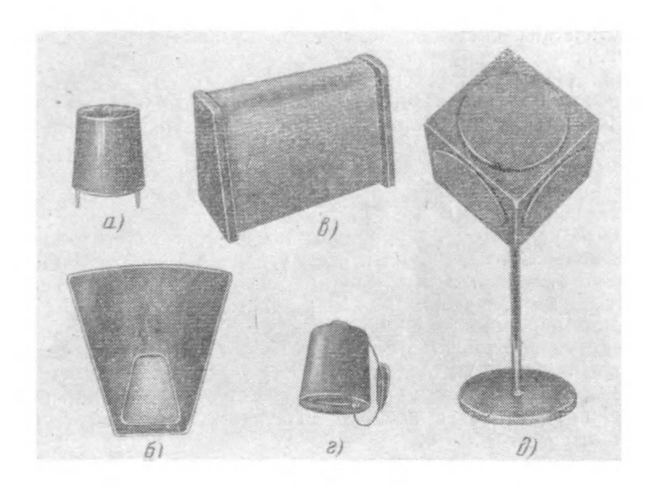


Рис. 16. Варианты внешнего оформления выносных высокочастотных громкоговорителей.

а — настольный; *б* и *в* — настенные; *г* и *д* — комбинированные.

В качестве выносных обычно используют электродинамические громкоговорители, предназначенные для воспроизведения преимущественно верхних частот. Оформление выносных громкоговорителей может быть различным.

Варианты оформления одиночных выносных громкоговорителей показаны на рис. 16.

Здесь следует обратить внимание на конструкцию в виде куба (рис. 16, *д*), в котором установлено шесть малогабаритных электродинамических верхнечастотных громкоговорителей с диффузором диаметром 47 *мм* каждый. Такой выносной громкоговоритель (правильнее было бы назвать его акустическим агрегатом) эффективно воспроизводит полосу звуковых частот от 2 000 до 20 000 *гц* и имеет почти круговую диаграмму направленности излучения в горизонтальной и вертикальной плоскостях.

СТЕРЕОФОНИЧЕСКИЕ АКУСТИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ

Для стереофонической передачи нужно иметь два идентичных по параметрам канала усиления звуковой частоты. Соответственно этому акустическая система должна состоять из двух разнесенных

на некоторое расстояние частей, одинаковых по своим параметрам, причем одинаковыми они должны быть не только по диапазону эффективно воспроизводимых звуковых частот, но еще и по диаграммам направленности излучения и по звуковому давлению. Включение громкоговорителей обоих каналов обязательно должно быть синфазным.

Эффект стереофонического звучания наиболее полно проявляется на верхних и средних частотах звукового диапазона. Если в акустических системах объемного звучания стремились достичь «рассеянного» распространения верхних частот, то в акустических системах стереофонического звучания, наоборот, желательно создать некоторую направленность излучения верхних звуковых частот. В этом принципиальное отличие стереофонических акустических систем от акустических систем объемного звучания.

То обстоятельство, что нижние звуковые частоты оказывают слабое влияние на эффект локализации вне зависимости от свойств акустической системы и ее расположения в помещении, наложило некоторый отпечаток на принципы построения акустических систем стереофонического звучания и схем усилителей низкой частоты. Так, оказалось возможным использовать для обоих каналов один низкочастотный громкоговоритель. В результате получилась акустическая система, состоящая из трех громкоговорителей, один из которых — низкочастотный — общий для обоих каналов, а два других, воспроизводящие средние и верхние частоты, — самостоятельные для каждого из каналов. Такая акустическая система напоминает по своему построению выносную акустическую систему объемного звучания.

Простейшая стереофоническая акустическая система может быть составлена из двух разнесенных однотипных громкоговорителей. Опытным путем установлено, что наиболее целесообразное расстояние между центрами громкоговорителей или акустических систем, называемое стереобазой, должно быть от 2 до 5 *м*. В этом случае наилучший стереофонический эффект обнаруживается в зоне, ограниченной площадью равностороннего треугольника, основанием которого служит стереобаза, и с углом при его вершине, называемом углом слушания, от 50 до 60°. Это, однако, не означает, что вне площади этого треугольника стереофонический эффект исчезает. В действительности он ощущается слушателем в той или иной степени в гораздо большей области, величина которой зависит от параметров акустической системы и характеристик помещения.

Впечатление расширения зоны слышимого стереофонического эффекта зависит от характеристик направленности излучения акустической системы; иногда для этого создают устройства со специальными характеристиками направленности. Поэтому нередко в стереофонических приемниках и радиолах высшего класса, а также в радиокомплексах применяют акустические агрегаты, состоящие из трех — шести громкоговорителей.

Рассмотрим теперь практические варианты построения стереофонических акустических систем. Начнем с самых простейших. На рис. 17 показан стереофонический переносный электрофон, акустическая система которого составлена из двух однотипных громкоговорителей, размещенных в разъемной крышке футляра. При транспортировке эти крышки складывают вместе и крепят к футляру. При прослушивании стереофонических граммофонных пластинок громкоговорители разносят на 2—4 *м* и устанавливают их в помещении

так, чтобы они были удалены примерно на одинаковое расстояние от места слушания.

В настольных стереофонических приемниках и радиолах акустическая система может состоять из трех громкоговорителей с таким же расположением их внутри футляра, как и в приемнике с акустической системой объемного звучания. В одном из таких приемников низкочастотный громкоговоритель (общий для обоих каналов) установлен на лицевой панели футляра, а громкоговорители, воспроизводящие верхние и средние частоты звукового диапазона (по одному для каждого канала), — на боковых стенках футляра. При таком построении акустической системы стереофонический эффект прояв-

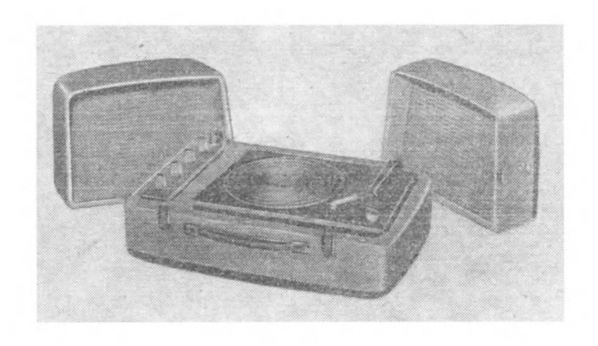


Рис. 17. Электрофон с простой стереофонической акустической системой.

ляется лучше всего, если приемник установлен в углу комнаты и звуковые колебания, излучаемые боковыми громкоговорителями, отражаются от стен или мебели. Чтобы приемник можно было расположить в любой части комнаты, его снабжают гнездами для подключения выносных громкоговорителей (по одному или два для каждого канала), причем при их включении встроенные в приемник громкоговорители автоматически отключаются.

В более сложных моделях настольных стереофонических приемников акустическую систему составляют из четырех, пяти и более громкоговорителей.

При четырех громкоговорителях низкочастотные громкоговорители чаще всего помещают на лицевой панели футляра, а высокочастотные — на боковых стенках. Однако применяют и другое расположение громкоговорителей. Так, например, в одном из зарубежных приемников все четыре громкоговорителя помещены на передней панели футляра и расположены симметрично, причем в центре установлены низкочастотные громкоговорители, а по бокам — высокочастотные. В другом стереофоническом приемнике громкоговорители, воспроизводящие нижние звуковые частоты, помещены на боковых стенках футляра, а высокочастотные — на лицевой панели у боковых стенок.

При пяти громкоговорителях наиболее часто встречается такое их расположение: низкочастотный громкоговоритель помещают в центре лицевой панели футляра, по обе стороны от него располагают громкоговорители верхних звуковых частот, а на боковых стенках футляра устанавливают громкоговорители, воспроизводящие средние и верхние частоты звукового диапазона. Возможно, конечно, и другое расположение громкоговорителей.

Выпускаются модели и с бо́льшим числом громкоговорителей. В акустической системе стереофонического звучания одного из при-

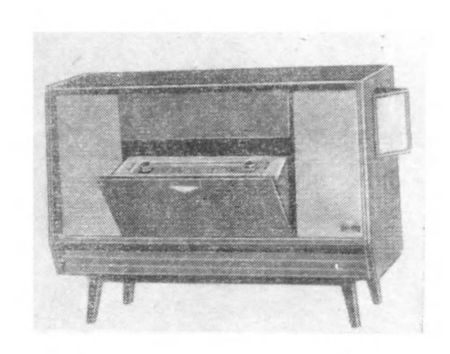


Рис. 18. Внешний вид консольной стереофонической радиолы.

емников, например, используется шесть громкоговорителей, четыре из которых (два низкочастотных, два для воспроизведения средних и верхних звуковых частот) установлены внутри футляра приемника, а два высокочастотных сделаны выносными и подключаются к приемнику дополнительно. Также шесть громкоговорителей имела и отечественная стереофоническая радиола «Италмас», но здесь все они были установлены внутри консольного футляра и располагались ближе к боковым стенкам.

В акустических системах стереофонического звучания в качестве низкочастотного обычно используют эллиптические громкоговорители с размерами по осям 180×260 *мм* или круглые с диффузором диаметром 240—320 *мм*. Высокочастотные громкоговорители, как правило, бывают электродинамические с диаметром диффузора от 45 до 100 *мм*. Пьезоэлектрические и электростатические громкоговорители в стереофонических акустических системах не используют, так как они развивают сравнительно небольшое звуковое давление, а подключение некоторых из них (например, электростатических) неудобно при вынесении из футляра приемника.

В консольных моделях радиол, магнитол и магниторадиол со стереофоническим звучанием акустическую систему обычно помещают внутри футляра и располагают ее по бокам. При размещении всех громкоговорителей внутри футляра стереобаза становится постоянной. В этом случае расстояние между высокочастотными гром-

коговорителями должно быть не менее 0,8 *м*. Это то минимальное расстояние, при котором еще может быть ощутим стереофонический эффект. Естественно, что в этом случае футляр бывает, как правило, консольно-горизонтального типа, и в таких моделях устанавливают две идентичные широкополосные акустические системы, имеющие по два и более громкоговорителей в каждом канале. Особое внимание при этом обращают на излучение верхних звуковых частот.

В качестве примера отметим оригинальное размещение высокочастотных громкоговорителей в футляре радиолы, внешний вид которой показан на рис. 18. Здесь высокочастотные громкоговорители помещены в специальные камеры, которые могут поворачиваться вокруг одной из своих сторон, выдвигаясь наружу. Такое размещение высокочастотных громкоговорителей и возможность направлять их излучение позволяют добиться стереофонического эффекта звучания при различном расположении радиолы в помещении.

В стереофонических моделях приемников и радиол высшего класса, а также в радиокомплексах акустическую систему почти исключительно делают выносной, состоящей из двух акустических агрегатов. В каждом агрегате размещают несколько различных по полосе воспроизводимых частот и мощности громкоговорителей, обеспечивающих излучение широкого спектра частот звукового диапазона. В большинстве случаев акустический агрегат имеет не менее трех громкоговорителей. Варианты их расположения в таких акустических агрегатах были показаны на рис. 5 и 6. Следует, однако, заметить, что при большом количестве пространственно разнесенных частотных громкоговорителей могут нарушиться правильные фазовые соотношения в звуковом поле, что отрицательно сказывается на стереоэффекте.

В заключение необходимо заметить, что в настоящее время большинство конструкторов сходится на мнении, что наиболее целесообразной для стереофонического воспроизведения является выносная акустическая система, состоящая из двух идентичных по параметрам одиночных громкоговорителей или акустических агрегатов. Существовавшее до недавних пор мнение о возможности размещения всех громкоговорителей внутри футляра настольного приемника оказалось неприемлемым, так как в большинстве случаев это не позволяет получить ярко выраженный стереофонический эффект.

Глава третья

НИЗКОЧАСТОТНЫЙ ТРАКТ

В предыдущих главах мы рассказали о новых громкоговорителях и акустических системах, применяемых в современных радиовещательных приемниках и акустических агрегатах. Но как указывалось выше, добиться действительно высокого качества звучания можно лишь в том случае, если весь тракт аппарата, начиная от антенного входа и кончая акустической системой, будет пропускать достаточно широкую полосу частот. При современном состоянии техники радиоприема, когда высокочастотная часть доведена до высокой степени совершенства, наибольшее значение приобретает правильное построе-

ние низкочастотного тракта, который совместно с акустической системой обеспечил бы пропускание необходимой полосы звуковых частот, а в случае необходимости и скорректировал бы частотную характеристику акустической системы.

Для обеспечения высококачественного воспроизведения разнообразных программ необходимо, чтобы усилитель низкой частоты совместно с акустической системой пропускал полосу звуковых частот от 30—50 до 16 000 *гц*. Помимо этого, в большинстве случаев весьма желательно предусмотреть подъем частотной характеристики на 6—10 *дб* как на нижних (30—500 *гц*), так и на верхних (10 000—16 000 *гц*) частотах, что благотворно сказывается на воспроизведении музыкальных программ. Кроме того, необходимо обеспечить возможность раздельного регулирования тембра на нижних и верхних частотах, а также разделение частотного диапазона на полосы в случае применения акустической системы объемного звучания.

Выполнение перечисленных требований не представляет собой сложности, хотя такой усилитель низкой частоты в ряде случаев может иметь сравнительно большое число радиоламп (транзисторов) и других деталей. Ниже приводятся разнообразные схемы усилителей низкой частоты.

УСИЛИТЕЛИ С ТРАНСФОРМАТОРНЫМ ОКОНЕЧНЫМ КАСКАДОМ

Читателям, несомненно, хорошо известны схемы усилителей низкой частоты переносных транзисторных приемников. В большинстве случаев такие усилители имеют двухтактный оконечный каскад, работающий в режиме В (связь между каскадами осуществляется с помощью переходного трансформатора). Также с помощью трансформатора осуществляется и согласование нагрузки (громкоговорителя) с оконечным каскадом. В большинстве случаев такие усилители имеют только регуляторы громкости и довольно узкий частотный диапазон.

На рис. 19 показана схема высококачественного усилителя низкой частоты переносного транзисторного приемника, которая, помимо регулятора громкости — переменного резистора R_3, имеет регуляторы тембра. Регулятор тембра верхних частот R_2 помещен на входе усилителя и обеспечивает как подъем, так и «завал» частотной характеристики, а регулятор тембра нижних звуковых частот R_6 — только ослабление усиления на соответствующих частотах звукового диапазона. Напряжение отрицательной обратной связи снимается с делителя R_{24} R_{25} и подается на базу транзистора T_2. За счет большой глубины обратной связи коэффициент нелинейных искажений усилителя не превышает 4% при выходной мощности 200 *мвт*. Хорошая термостабильность и возможность подстройки по усилению выгодно отличают этот усилитель от ему подобных.

В простых стационарных транзисторных приемниках с питанием от электрической сети переменного тока нередко используют усилители низкой частоты с однотактным оконечным каскадом, работающим в режиме А, так как мощность, потребляемая аппаратом от источника питания, в этом случае не играет существенной роли.

Отличительная особенность схемы, изображенной на рис. 20, — высокое напряжение питания. В коллекторную цепь оконечного транзистора T_2 включен выходной трансформатор *Тр*. Усилитель охвачен несколькими обратными связями. Напряжение одной из них (по пе-

ременному току) снимается с коллектора транзистора T_2 и через резистор R_4 подается в цепь эмиттера транзистора T_1. Напряжение другой отрицательной обратно связи (по постоянному току) снимается с ползунка регулировочного резистора R_6 и через резистор R_1

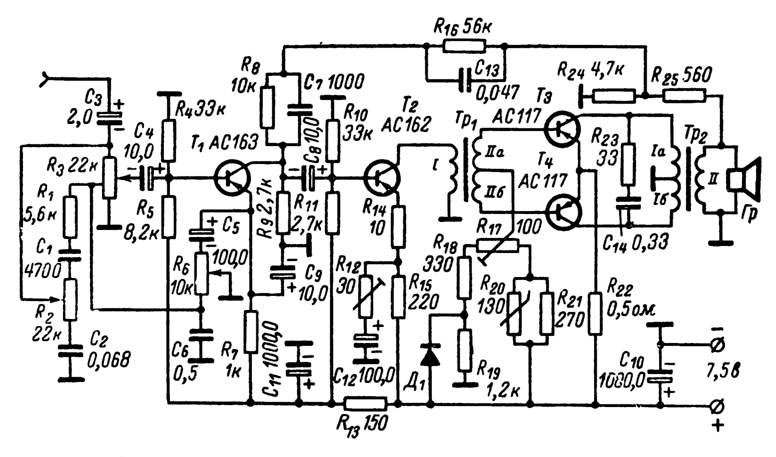


Рис. 19. Схема усилителя низкой частоты транзисторного приемника.

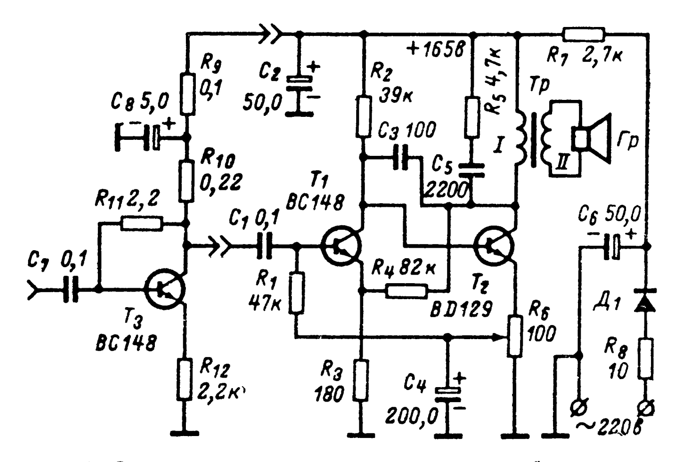


Рис. 20. Схема транзисторного усилителя низкой частоты с питанием от электрической сети переменного тока.

вводится в цепь базы транзистора T_1. С помощью конденсатора C_3, включенного между коллектором и базой транзистора T_2, ослабляется усиление на самых верхних звуковых частотах, предохраняя оконечный каскад от самовозбуждения. Этому же способствует и цепочка R_5C_5.

При напряжении питания 165 *в* и потреблении около 50 *ма* усилитель развивает выходную мощность до 2 *вт* при коэффициенте нелинейных искажений на частоте 1 000 *гц* около 3%. С двумя каскадами (T_1 и T_2) указанная выходная мощность обеспечивается при подаче на вход напряжения около 200 *мв*, т. е. такого напряжения, которое обычно получается на выходе детектора приемника. Однако из-за низкого входного сопротивления усилителя (порядка 10 *ком*) в этом случае к его входу подключать обычный пьезоэлектрический звукосниматель нельзя. Поэтому в другой модели приемника добав-

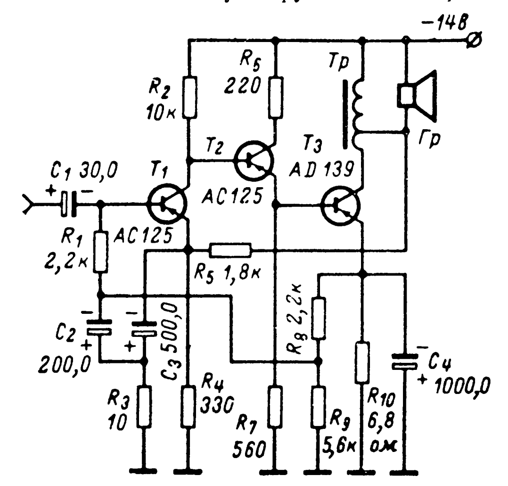


Рис. 21. Схема транзисторного усилителя низкой частоты с низковольтным источником питания.

лен еще один каскад предварительного усиления, работающий на транзисторе T_3. В результате чувствительность усилителя повысилась до 25 *мв*, а звукосниматель подключается к его входу через резистор сопротивлением 330 *ком*.

Схема другого усилителя показана на рис. 21. В отличие от предыдущей схемы напряжение питания здесь низковольтное, что повысило потребляемый усилителем ток до 0,5 *а*. При выходной мощности 2 *вт* коэффициент нелинейных искажений этого усилителя на частотах 100 и 1 000 *гц* не превышает 2%, а на частоте 10 000 *гц* — 5%.

Однако наибольшее распространение как в переносных, так и в стационарных приемниках и радиокомплексах получили двухтактные бестрансформаторные транзисторные усилители.

УСИЛИТЕЛИ С УЛЬТРАЛИНЕЙНЫМ ОКОНЕЧНЫМ КАСКАДОМ

Такой оконечный каскад может быть выполнен только на пентоде или лучевом тетроде. Его отличительная особенность — присоединение экранирующей сетки к части витков первичной обмотки выход-

ного трансформатора. При таком включении режим работы лампы изменяется, и при небольшом уменьшении выходной мощности по сравнению с обычным ее включением значительно уменьшаются внутреннее

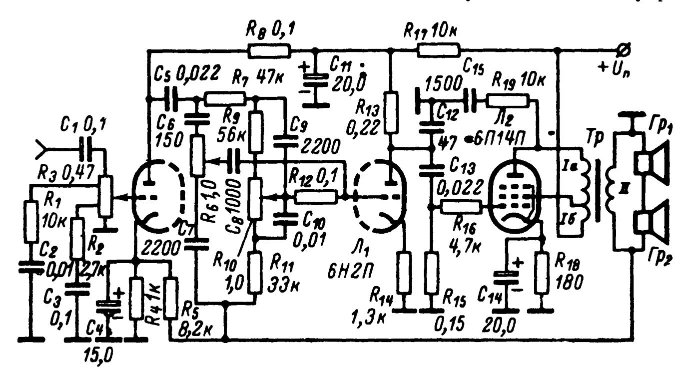


Рис. 22. Схема усилителя с оконечным каскадом, работающим в ультралинейном режиме.

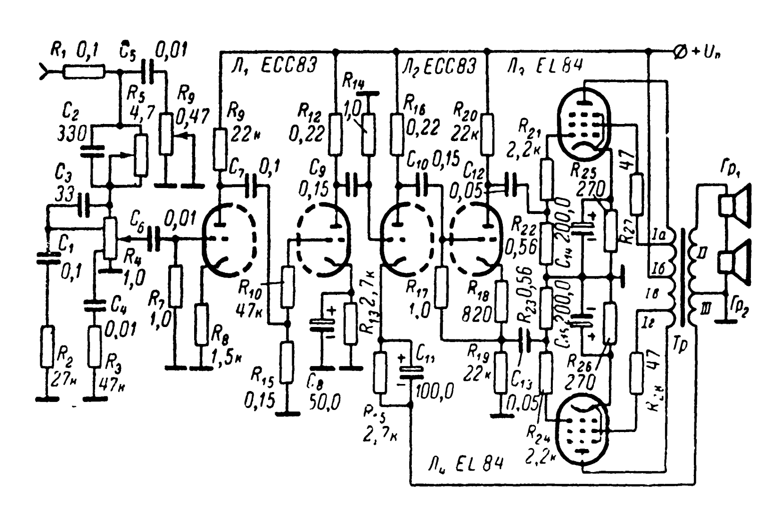


Рис. 23. Схема усилителя низкой частоты с двухтактным оконечным каскадом, работающим в ультралинейном режиме.

сопротивление и коэффициент нелинейных искажений оконечного каскада. Объясняется это действием отрицательной обратной связи, напряжение которой приложено к экранирующей сетке лампы. В результате в оконечном каскаде как бы работает новая лампа с другими характеристиками. Вид этих характеристик зависит от отношения

числа витков первичной обмотки выходного трансформатора, подключенных к экранирующей сетке, к числу витков всей обмотки.

Практическая схема ультралинейного усилителя показана на рис. 22. Он построен на двух лампах и имеет раздельные и плавные регуляторы тембра верхних (R_6) и нижних (R_{10}) звуковых частот. Выходная мощность оконечного каскада около 2 *вт* при коэффициенте нелинейных искажений не более 3%.

Особенно большое снижение нелинейных искажений получается при применении ультралинейной схемы в двухтактных каскадах, когда лампы работают в режиме AB_1. При этом наивыгоднейшее место отводов трансформатора для подключения экранирующих сеток ламп 6П14П и 6П3С соответствует 43%, а ламп 6П1П и 6П6С—22% от числа витков половины обмотки (считая от средней точки). В качестве примера на рис. 23 показана схема усилителя низкой частоты с двухтактным оконечным каскадом, работающим в ультралинейном режиме. Напряжение дополнительной отрицательной обратной связи снимается с обмотки *III* выходного трансформатора *Тр* и вводится в цепь катода левого (по схеме) триода лампы $Л_2$. При выходной мощности 5 *вт* коэффициент нелинейных искажений этого усилителя не превышает 0,7% на частоте 1 000 *гц*.

УСИЛИТЕЛИ С БЕСТРАНСФОРМАТОРНЫМ ОКОНЕЧНЫМ КАСКАДОМ

Появление усилителей без выходного трансформатора было вызвано стремлением конструкторов улучшить электрические характеристики усилителя и вместе с тем еще более повысить качество воспроизведения. Немало способствовало этому создание специальных высокоомных громкоговорителей и радиоламп с низким внутренним сопротивлением, способных работать при небольших анодных напряжениях (150—180 *в*). Однако с широким распространением транзисторов, обладающих небольшим внутренним сопротивлением, надобность в высокоомных громкоговорителях отпала.

Как же работает оконечный каскад без выходного трансформатора?

В двухтактном оконечном усилителе с выходным трансформатором сопротивление нагрузки $R_н$, пересчитанное в анодную цепь оконечных ламп, состоит из двух частей, соединенных последовательно (рис. 24, *а*). В таком усилителе выходной трансформатор вследствие нелинейности кривой намагничивания стального сердечника является дополнительным источником нелинейных искажений. Вместе с тем, выходной трансформатор является реактивным элементом схемы, не позволяющим осуществлять глубокую отрицательную обратную связь из-за фазовых искажений и возможного при этом самовозбуждения. Все это затрудняет борьбу с нелинейными искажениями.

Исключение из схемы выходного трансформатора приводит не только к снижению нелинейных искажений, но и способствует расширению полосы воспроизводимых усилителем звуковых частот. В схеме без выходного трансформатора передача нижних частот ограничивается лишь емкостями переходных конденсаторов, а верхних частот — диапазоном звучания громкоговорителя и емкостями монтажа.

Чтобы избавиться от выходного трансформатора, можно было бы изготовить громкоговоритель с высокоомной звуковой катушкой,

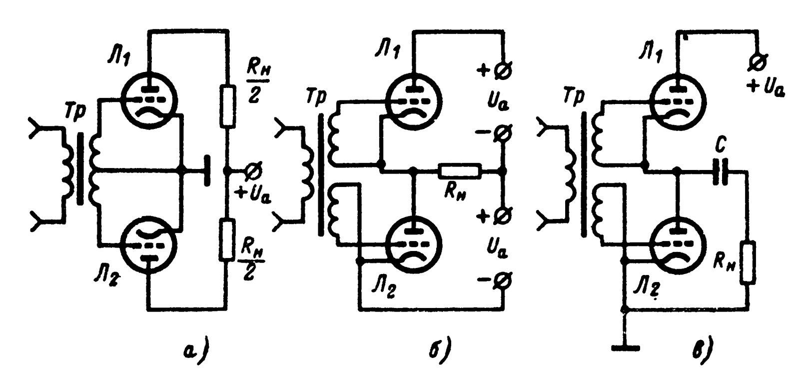


Рис. 24. Упрощенные схемы двухтактного оконечного каскада.

а — обычная схема; *б* и *в* — схемы с последовательным (по постоянному току) включением ламп.

но при использовании двухтактной схемы такая катушка должна иметь отвод от средней точки обмотки, что не всегда удобно. Кроме того, при непосредственном включении звуковой катушки в анодные цепи через нее будет проходить постоянная составляющая тока ламп, что будет вызывать ее нагрев.

Значительно выгоднее использовать схему оконечного каскада, в которой обе лампы включены параллельно по переменному току и последовательно по постоянному току (рис. 24, *б*). Нагрузка $R_н$ в такой схеме не имеет отвода от середины; ее оптимальная величина оказывается в 4 раза меньше, чем требуемая при обычном двухтактном каскаде с теми же лампами. Однако при этом требуются два источника анодного питания. В результате дальнейшей работы со схемой был найден вариант (рис. 24, *в*), при котором устраняется и этот недостаток.

В настоящее время известно значительное число схем двухтактных оконечных каскадов без выходного трансформатора, построенных как на лампах, так и на транзисторах. Все они основаны на включении обоих активных элементов параллельно по переменному току; при этом оптимальное сопротивление нагрузки оконечного каскада для ламповых схем может достигать несколько сотен ом и для транзисторных схем — нескольких ом, что позволяет с успехом использовать обычные электродинамические громкоговорители.

Одна из практических схем оконечного каскада без выходного трансформатора показана на рис. 25, *а*. Напряжение низкой частоты подводится здесь к управляющей сетке лампы $Л_3$ и усиливается ею; некоторая часть усиленного напряжения выделяется на резисторе R_7 и с него через сопротивление утечки сетки — резистор R_6 — подается к управляющей сетке лампы $Л_2$. Резистор R_7 выполняет также роль сопротивления автоматического смещения для лампы $Л_2$. Нагрузка каскада (громкоговорители) подключена к катоду лампы $Л_2$ через разделительный конденсатор C_7.

Каскад предварительного усиления работает на одном из триодов лампы $Л_1$ типа 6Н2П, а оконечный каскад — на лампах 6П18П. При выходной мощности 2 *вт* коэффициент нелинейных искажений

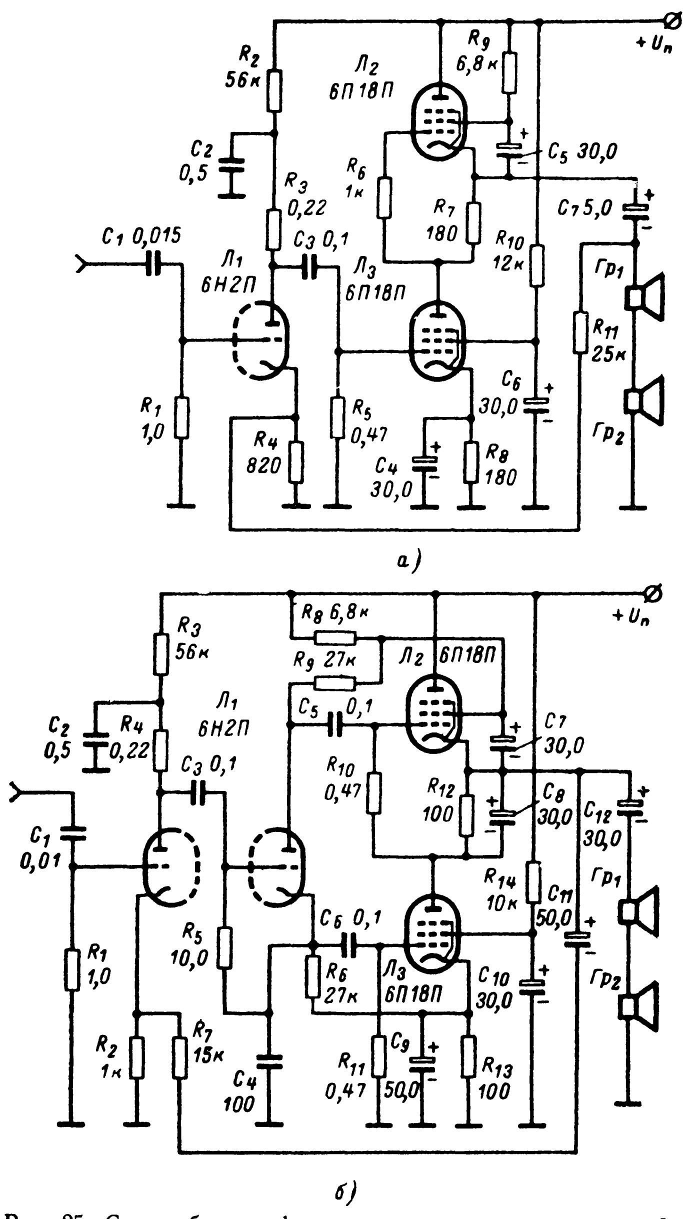


Рис. 25. Схемы бестрансформаторных ламповых усилителей. *а* — без инверсного каскада; *б* — с инверсным каскадом.

усилителя не превышает 1,5%. Достигается это введением глубокой (около 20 *дб*) отрицательной обратной связи, напряжение которой снимается с нагрузки и подается в цепь катода лампы $Л_1$ через резистор R_{11}.

В качестве нагрузки усилителя использованы два высокоомных электродинамических громкоговорителя.

К недостаткам такой схемы следует отнести несколько повышенный коэффициент нелинейных искажений. Происходит это потому, что низкочастотное напряжение подается на лампу $Л_2$ из анодной цепи лампы $Л_3$, которая сама может вносить до 2—3% искажений, так как здесь не происходит характерной для двухтактной схемы компенсации четных гармоник. Помимо этого, выходной каскад при такой схеме возбуждения может работать только в режиме А.

Избавиться от указанного недостатка можно, если подавать напряжение возбуждения на лампу $Л_2$ от специального инверсного каскада. Схема такого усилителя приведена на рис. 25, *б*. Введение инверсного каскада, работающего на правом (по схеме) триоде лампы $Л_1$ и собранного по схеме с разделенной нагрузкой, позволяет значительно повысить выходную мощность оконечного каскада, а введение глубокой отрицательной обратной связи (около 30 *дб*) — значительно снизить нелинейные искажения. Такой усилитель имеет выходную мощность 6 *вт* при коэффициенте нелинейных искажений не более 1%.

Из особенностей рассматриваемой схемы следует отметить питание анодной цепи правого триода лампы $Л_1$. Напряжение возбуждения лампы $Л_2$ не может быть снято со всей анодной нагрузки инверсного каскада, так как тогда оно окажется приложенным не между управляющей сеткой и катодом, а между управляющей сеткой и анодом оконечной лампы. Поэтому здесь управляющий сигнал снимается с резистора R_9, включенного между анодом правого триода лампы $Л_1$ и экранирующей сеткой лампы $Л_2$.

Следует отметить также и некоторые трудности питания экранирующей сетки лампы $Л_2$. Для получения пентодного режима эта сетка должна быть замкнута по переменному току на катод. При этом гасящий резистор, включенный между плюсом источника анодного питания и экранирующей сеткой лампы, оказывается включенным (по переменному току) параллельно нагрузке каскада, и на нем бесполезно рассеивается часть выходной мощности. Увеличение же сопротивления гасящего резистора приводит к понижению напряжения на экранирующей сетке и как следствие к уменьшению отдаваемой каскадом выходной мощности. Поэтому приходится подбирать такую величину гасящего резистора, при которой обеспечивались бы достаточно большое напряжение на экранирующей сетке лампы и малые потери выходной мощности.

В каскаде без выходного трансформатора обе оконечные лампы включены последовательно по постоянному току. Поэтому для него требуется удвоенное напряжение источника анодного питания или же применение специальных ламп с малым внутренним сопротивлением, способных работать при низких напряжениях (100—150 *в*). Кроме того, нужны и высокоомные электродинамические громкоговорители.

Из выпускаемых нашей промышленностью радиоламп в оконечном каскаде без выходного трансформатора могут быть использованы пентоды типа 6П18П. При анодном напряжении 300—350 *в* оконечный каскад с этими лампами может отдать мощность в 6—8 *вт* при коэффициенте нелинейных искажений 2—3%.

И все же схемы усилителей с оконечным каскадом без выходного трансформатора, построенные на лампах, не получили широкого распространения из-за трудности изготовления высокоомных громкоговорителей. Зато самое широкое распространение получили такие схемы в транзисторных усилителях. Основная причина этому — малое выходное сопротивление оконечного каскада, позволяющее использовать в качестве нагрузки обычные низкоомные электродинамические громкоговорители и составленные из них акустические системы.

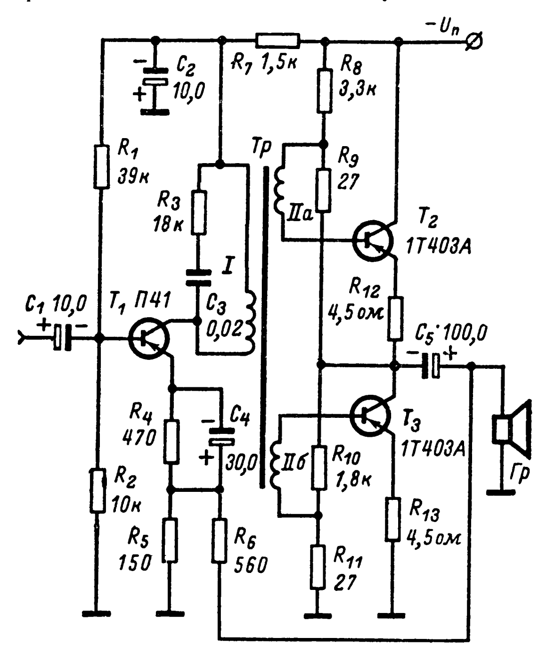


Рис. 26. Схема транзисторного усилителя без выходного трансформатора.

В качестве примера построения оконечного каскада на транзисторах без выходного трансформатора рассмотрим схему, показанную на рис. 26. В этой схеме транзисторы оконечного каскада T_2 и T_3 включены последовательно по постоянному току и параллельно по переменному току. Поэтому, как и в схемах на лампах, внутреннее сопротивление оконечного каскада получается в 4 раза меньше, чем в обычном двухтактном каскаде. Однако для получения наименьших нелинейных искажений нужно подобрать оконечные транзисторы с близкими характеристиками.

В рассматриваемой схеме напряжение смещения на базы транзисторов T_2 и T_3 подается от самостоятельных делителей R_8R_9 и $R_{10}R_{11}$, что уменьшает нелинейные искажения при малом уровне сигнала. Через резистор R_{10} транзистор T_3 оказывается охваченным не-

большой (2—4 *дб*) отрицательной обратной связью. Более сильной отрицательной обратной связью (6—10 *дб*) охвачен весь усилитель, что не только снижает коэффициент нелинейных искажений, но и

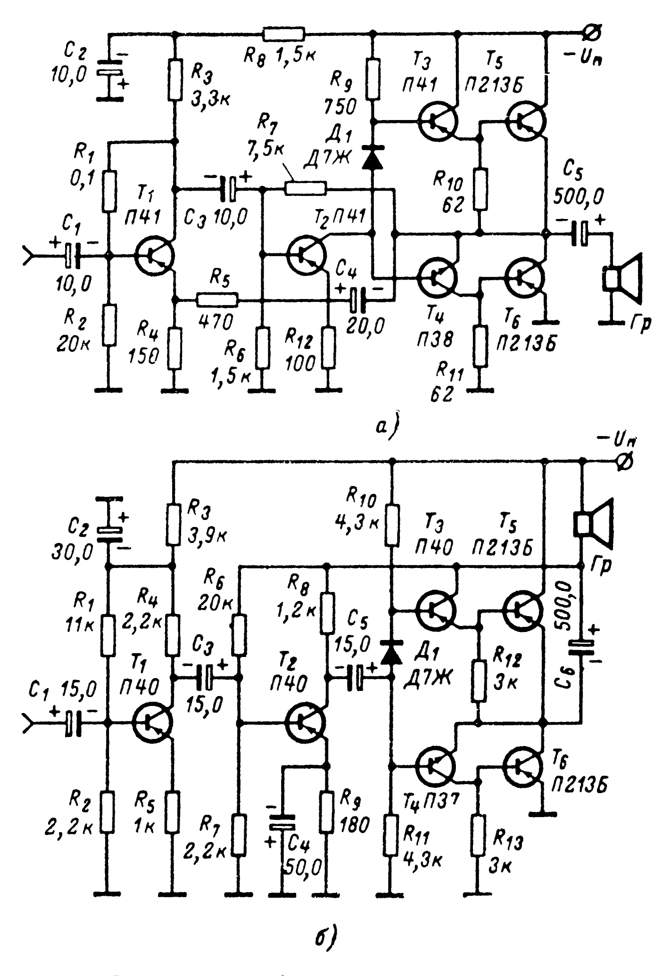


Рис. 27. Схемы бестрансформаторных транзисторных усилителей с инверсным каскадом на транзисторах различной проводимости.

а — принципиальная схема; *б* — вариант схемы с «вольтодобавкой».

увеличивает его входное сопротивление. Полоса частот, пропускаемая рассматриваемым усилителем, определяется в основном параметрами согласующего инверсного трансформатора *Тр* и по конструк-

тивным соображениям не может быть широкой. Поэтому такие оконечные усилители обычно применяют в недорогих приемниках без УКВ ЧМ диапазона. В широкополосных транзисторных усилителях с оконечным каскадом без выходного трансформатора наиболее часто используют инверсный каскад с разделенной нагрузкой или транзисторами различной проводимости. Одна из подобных схем показана на рис. 27, *а*. Здесь оконечный каскад выполнен на транзисторах T_5 и T_6 с использованием в инверсном каскаде транзисторов T_3 и T_4 различной проводимости. Минимальные нелинейные искажения в этой схеме достигаются в том случае, когда произведения коэффициентов усиления транзисторов каждого плеча равны, т. е. когда выполняется равенство

$$\beta_{T3}\beta_{T5} = \beta_{T4}\beta_{T6}.$$

Начальное напряжение смещения на базы транзистров T_3 и T_4, необходимое для устранения возникающих в двухтактных схемах нелинейных искажений типа «центральной отсечки», образуется на диоде $Д_1$. Такая схема улучшает температурную стабильность тока покоя оконечного каскада. Весь усилитель охвачен отрицательной обратной связью (глубиной около 10 *дб*), напряжение которой с выхода усилителя через конденсатор C_4 и резистор R_5 подается на эмиттер транзистора T_1.

Этот усилитель при напряжении питания 12 *в* и сопротивлении нагрузки 6,5 *ом* (электродинамический громкоговоритель типа 1ГД-18) развивает выходную мощность до 1 *вт* при коэффициенте нелинейных искажений не более 1,5%. Такая сравнительно небольшая выходная мощность объясняется тем, что размах выходного сигнала не может быть больше напряжения питания. В действительности это напряжение еще меньше на величину падения напряжения на отпертом транзисторе, которое в свою очередь зависит от тока коллектора и типа транзистора. Кроме того, каскад предварительного усиления сигнала с резистором в цепи коллектора не может обеспечить неискаженную амплитуду сигнала, равную $U_п/2$, что требуется для полного использования коллекторного напряжения в выходном каскаде.

Чтобы расширить амплитудную характеристику усилителя и, в первую очередь, его предоконечного каскада, нужно повысить напряжение источника питания. Но если применить для оконечного каскада схему питания с «вольтдобавкой», то можно повысить неискаженную выходную мощность усилителя, не увеличивая напряжение от источника питания. В измененной схеме усилителя (рис. 27, *б*) напряжение на коллекторы транзисторов T_2 и T_3 подается с точки соединения сопротивления нагрузки (громкоговорителя) с конденсатором C_6.

Напряжение в этой точке представляет собой сумму постоянного напряжения питания и переменного напряжения полезного сигнала на нагрузке. При отрицательных (относительно «земли») полупериодах этой переменной составляющей коллекторное напряжение транзисторов T_2 и T_3 оказывается повышенным, что увеличивает максимальную неискаженную величину напряжения возбуждения.

В цепь базы транзистора T_2 через резистор R_6 с выхода оконечного каскада вводится отрицательная обратная связь, что также приводит к снижению нелинейных искажений. Стабилизация режима работы транзисторов оконечного каскада по постоянному току осуществляется с помощью делителя напряжения $R_{10}Д_1R_{11}$; диод $Д_1$, как

и в предыдущей схеме, улучшает температурную стабильность тока покоя оконечных транзисторов.

При этом же напряжении от источника питания (12 *в*) этот усилитель развивает выходную мощность 1,6 *вт* на том же сопротивле-

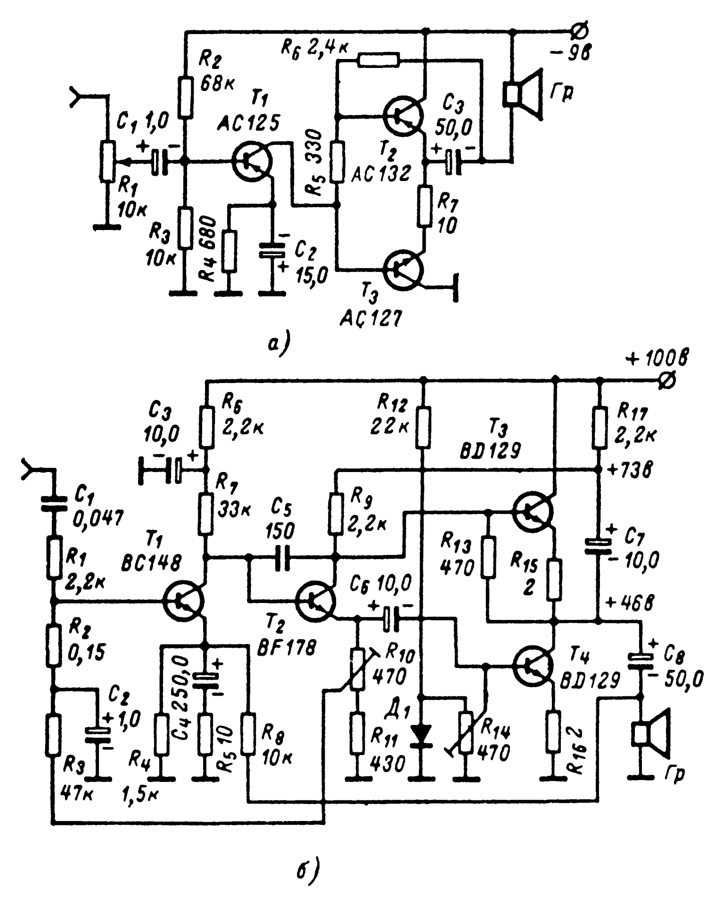


Рис. 28. Простейшие схемы транзисторных усилителей без выходного трансформатора.

нии нагрузки (6,5 *ом*) при коэффициенте нелинейных искажений не более 1%. Чувствительность усилителя больше 200 *мв*. При номинальной выходной мощности потребляемый ток около 200 *ма*, а в режиме покоя — около 10 *ма*.

Рассмотренные усилители имеют достаточную выходную мощность, но из-за значительного потребления энергии требуют мощного источника питания. Следовательно, если такой усилитель питать от

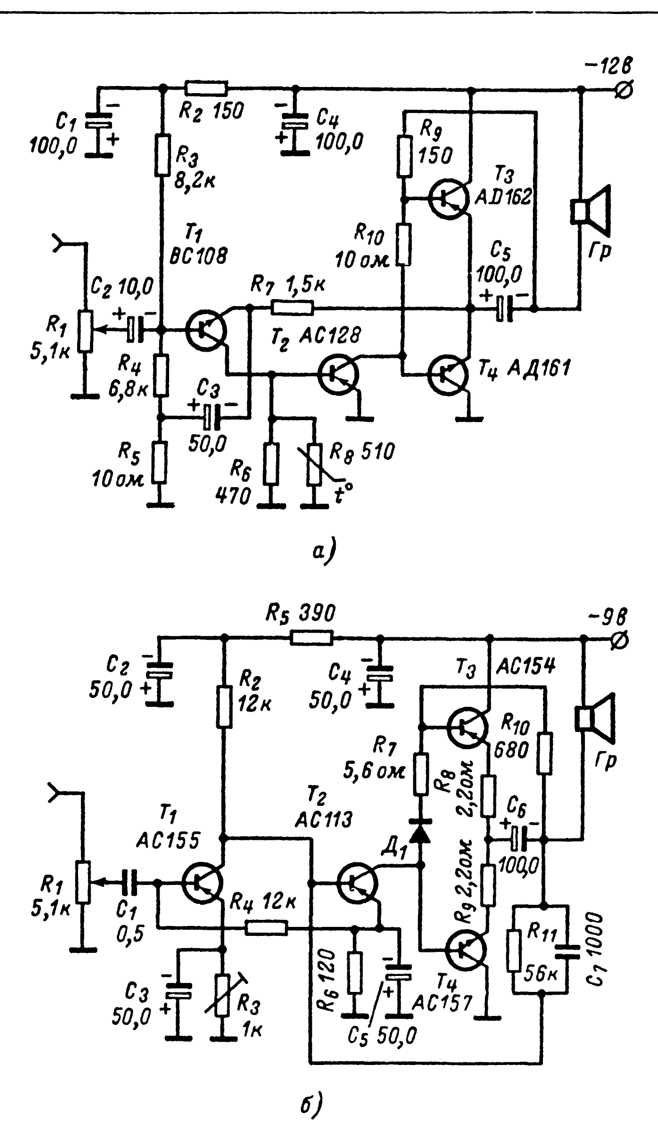
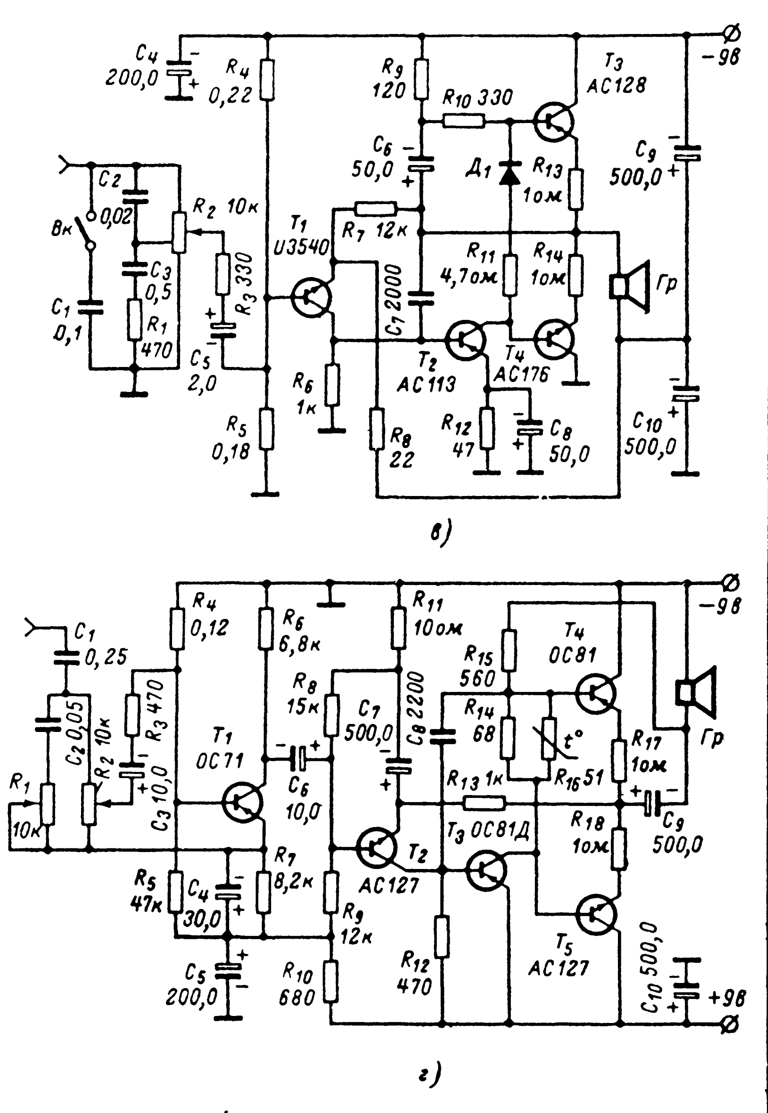


Рис. 29. Схемы усилителей низкой



в)

г)

частоты для электрофонов.

автономного источника постоянного тока (элементов или аккумулятора), то время непрерывной работы аппарата будет ограниченным. Поэтому в малогабаритных приемниках применяют более простые и экономичные схемы. Схема, показанная на рис. 28, *а*,— одна из наиболее простых, используемых в переносных приемниках. В ней оконечный каскад построен на транзисторах T_2 и T_3 различной проводимости и поэтому не требует специального инверсного каскада. Каскад предварительного усиления работает на транзисторе T_1, включенном по обычной схеме с общим эмиттером. Выходная мощность этого усилителя около 200 *мвт*.

Схема другого усилителя, предназначенного для простого приемника с питанием от сети, приведена на рис. 28,*б*. Она отличается от предыдущей тем, что в оконечном каскаде применены транзисторы T_3 и T_4 одинаковой проводимости и дополнительно к ним инверсный каскад с разделенной нагрузкой на транзисторе T_2. Кроме того, введена температурная стабилизация тока покоя с помощью диода $Д_1$, а также несколько отрицательных обратных связей. Напряжение одной из них (по постоянному току) снимается с эмиттера транзистора T_2 и через резисторы R_2R_3 и конденсатор C_2 вводится в цепь базы транзистора T_1, а напряжение другой (по переменному току) — снимается с выхода и вводится в цепь эмиттера транзистора T_1 через резистор R_8.

Коллектор транзистора T_2 соединен с базой того же транзистора через конденсатор C_5, чем устраняется возможность самовозбуждения на верхних звуковых частотах. В оконечном каскаде существует другая обратная связь благодаря соединению базы транзистора T_3 с выходом усилителя через резистор R_9.

Отличительной особенностью этого усилителя является иной способ получения «вольтодобавки». Напряжение на коллектор транзистора T_2 снимается не с нагрузки усилителя, а с резистора R_{17}. Громкоговоритель *Гр* подключен к выходу усилителя через самостоятельный конденсатор C_3.

Благодаря высокому напряжению источника питания (100 *в*) усилитель развивает выходную мощность до 2 *вт* при коэффициенте нелинейных искажений на частоте 100 *гц* около 2% и на частотах 1 000 и 10 000 *гц* не более 1,5%. Чувствительность усиления около 25 *мв*.

Наиболее простая из схем, применяемых в электрофонах, показана на рис. 29, *а*. Этот усилитель при сопротивлении нагрузки 3 *ом* развивает выходную мощность до 0,5 *вт* и имеет равномерную частотную характеристику в диапазоне от 60 до 15 000 *гц*, чему способствуют непосредственные связи между транзисторами. Небольшие нелинейные искажения получаются благодаря отрицательной обратной связи с выхода усилителя на эмиттер транзистора T_1. Температурная стабилизация обеспечивается терморезистором R_8.

Схема другого усилителя (рис. 29, *б*) отличается от предыдущей способом подачи отрицательной обратной связи и применением диода $Д_1$ для термостабилизации тока покоя оконечного каскада. Этот усилитель развивает ту же выходную мощность при сопротивлении нагрузки 15 *ом*.

Третий усилитель (рис. 29, *в*) имеет выключатель *Вк*, с помощью которого на входе усилителя включается конденсатор C_1, ослабляющий верхние частоты при проигрывании граммофонных пластинок со скоростью вращения диска 78 *об/мин*. Выходная мощность этого усилителя 750 *мвт* при сопротивлении нагрузки 10 *ом*.

Более сложная схема усилителя показана на рис. 29, *г*. Помимо регулятора громкости R_2, имеется регулятор тембра верхних звуковых частот R_1. Выходная мощность этого усилителя 800 *мвт* при сопротивлении нагрузки 10 *ом*.

УСИЛИТЕЛИ БОЛЬШОЙ МОЩНОСТИ ДЛЯ ВЫСОКОКАЧЕСТВЕННЫХ КОМБИНИРОВАННЫХ УСТАНОВОК

Широкое распространение высококачественной воспроизводящей аппаратуры потребовало создания специальных усилителей с выходной мощностью не менее 15 *вт* при искажениях не более 2%. Выбор столь большой выходной мощности не случаен, хотя в большинстве случаев и не используется полностью, так как обычная мощность, достаточная для нормального слушания в жилой комнате, не превышает 5—10 *вт*. Если же использовать усилитель с большой выходной мощностью и устанавливать нормальный уровень громкости, то усилитель будет работать в легком режиме с пониженной выходной мощностью и минимальными нелинейными искажениями. Кроме того, такой режим работы позволяет без искажений воспроизводить самые мощные пики громкости, что положительно сказывается на качестве воспроизведения, так как усилитель работает без перегрузок, обеспечивая большой динамический диапазон установки в целом.

В настоящее время подавляющее большинство усилителей для высококачественной аппаратуры изготовляют на транзисторах, что обеспечивает небольшие габариты и экономичность установок.

В качестве примера рассмотрим две схемы оконечных усилителей большой мощности, показанные на рис. 30. Первая из них (рис. 30, *а*) рассчитана на выходную мощность 30 *вт* при коэффициенте нелинейных искажений 0,4%. При снижении выходной мощности до 10 *вт* коэффициент нелинейных искажений понижается до 0,02%. Как и в рассмотренных выше усилителях, здесь инверсный каскад выполнен на транзисторах различной проводимости T_4 и T_5. Усилитель охвачен глубокой отрицательной обратной связью, напряжение которой снимается с выхода усилителя и через резистор R_6 вводится в цепь эмиттера транзистора T_1. Отличительной особенностью схемы является включение в цепь коллектора транзистра T_3 еще одного гранзистора T_2, включенного по схеме управляемого диода. Изменяя сопротивление резистора R_9, можно регулировать режим работы оконечного каскада, обеспечивая его работу при малом токе покоя и минимальных нелинейных искажениях. Оптимальная величина нагрузки этого усилителя может колебаться в пределах от 8 до 15 *ом*.

Другой усилитель, схема которого приведена на рис. 30, *б*, рассчитан на выходную мощность 35 *вт* при коэффициенте нелинейных искажений около 0,8%. Его схема аналогична предыдущей, но отличается тем, что в коллекторную цепь транзистора T_2 включены диоды $Д_1$ $Д_2$ и подстроечный резистор R_{10}. Однако и этот усилитель имеет интересную особенность.

В оконечных усилителях большой мощности для уменьшения тока покоя и предохранения выходных транзисторов от тепловой перегрузки в их эмиттерные цепи включают резисторы небольшого сопротивления. Однако эти резисторы увеличивают выходное сопротивление оконечного каскада и уменьшают к. п. д. усилителя. В рассмат-

риваемой схеме параллельно резисторам R_{14} и R_{16} включены кремниевые диоды $Д_3$ и $Д_4$. При малом уровне сигнала, когда ток оконечного каскада небольшой, сопротивление диодов велико и они практически не влияют на режим работы выходных транзисторов. При увеличе-

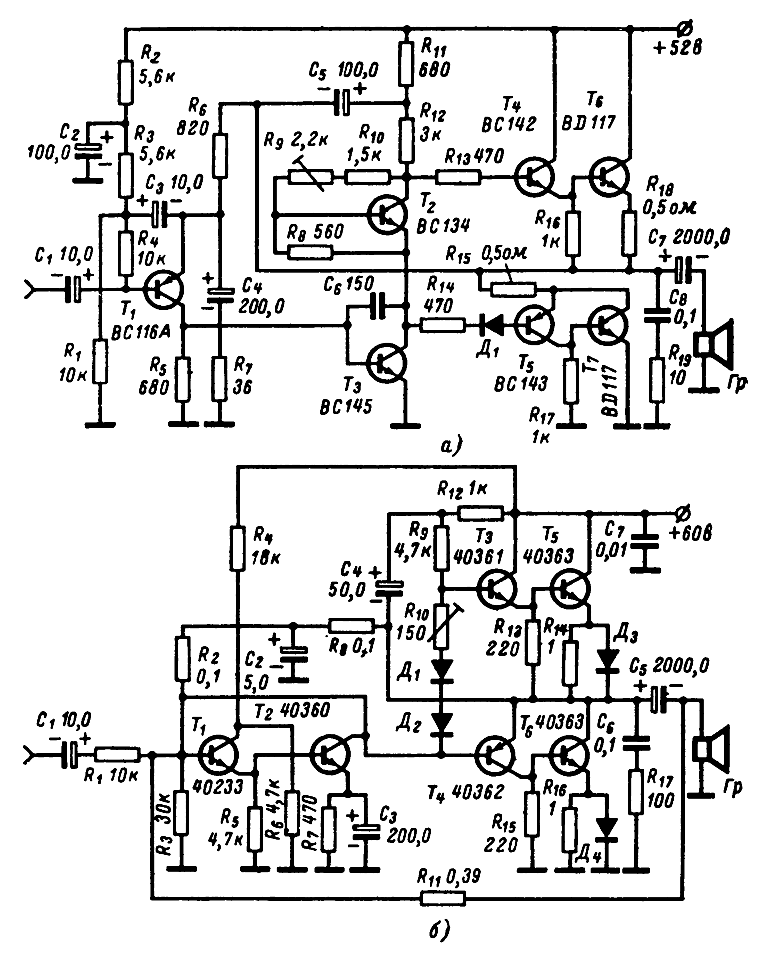


Рис. 30. Схемы бестрансформаторных транзисторных усилителей низкой частоты большой мощности.

а — с выходной мощностью 30 *вт*; *б* — с выходной мощностью 35 *вт*.

нии сигнала, когда мощность оконечного каскада резко возрастает, сопротивление диодов уменьшается, а это приводит к уменьшению общего сопротивления в цепях транзисторов T_5 и T_6. В результате к. п. д. усилителя повышается, и он лучше работает при выходной

мощности, близкой к номинальной. Этот усилитель рассчитан на подключение нагрузки с сопротивлением 8 *ом*.

Схема еще одного усилителя большой мощности, собранная на лампах, показана на рис. 31. Этот усилитель обеспечивает выходную мощность до 20 *вт* при коэффициенте нелинейных искажений до 1,5%. Его выходной каскад построен по двухтактной мостовой схеме на

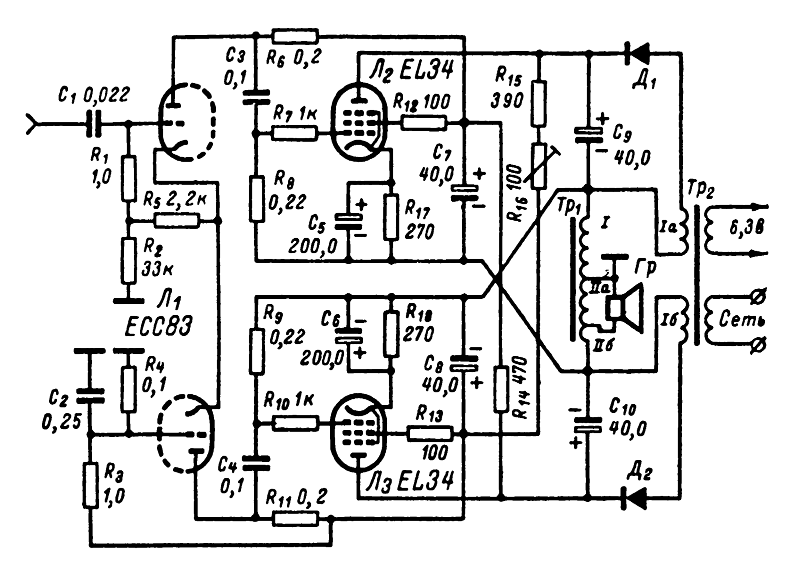


Рис. 31. Схема лампового усилителя низкой частоты с выходной мощностью 20 *вт*.

мощных пентодах $Л_2$ и $Л_3$ и по своим свойствам близок к рассмотренным ранее бестрансформаторным каскадам.

Отличие этого усилителя от ранее рассмотренных заключается в том, что трансформатор питания $Тр_2$ должен иметь две повышающие обмотки для питания анодных цепей выходных ламп. Как и в предыдущих схемах, выходные лампы этого усилителя соединены параллельно по переменному току. Благодаря такому построению схемы усилителя согласующий автотрансформатор $Тр_1$ оказывается включенным в диагональ моста, составленного из внутренних сопротивлений ламп $Л_2$, $Л_3$ и конденсаторов C_9, C_{10}, и по его обмотке не протекает постоянная составляющая анодного тока выходных ламп, что облегчает режим работы этого трансформатора и позволяет уменьшить его габариты. Кроме того, нагрузка оконечного каскада (трансформатор $Тр_1$) включена между катодами ламп $Л_2$ и $Л_3$, т. е. оконечный каскад работает в режиме катодного повторителя и оказывается охваченным глубокой отрицательной обратной связью, резко снижающей нелинейные искажения. Для обеспечения полной симметрии оконечного каскада и подачи на управляющие сетки выходных ламп противофазных напряжений от середины обмотки

трансформатора $Тр_1$ сделан отвод, соединенный с «землей». Принципиально можно было бы не включать в схему согласующий трансформатор $Тр_1$, а вместо него подключить электродинамический громкоговоритель (или акустический агрегат) с сопротивлением звуковой катушки порядка 800 *ом* с отводом от середины или два последовательно включенных электродинамических громкоговорителя с сопротивлением звуковых катушек по 400 *ом*. Но из-за малого распространения таких громкоговорителей приходится применять согласующий автотрансформатор.

Следует отметить и способ питания экранирующих сеток выходных ламп, когда напряжение на экранирующую сетку лампы одного плеча подается из цепи анодного питания лампы другого плеча. Один из резисторов в цепях экранирующих сеток (R_{16}) сделан регулируемым, и его величину подбирают в процессе регулировки по наименьшему уровню фона. Если же при подборе величины этого резистора уровень фона остается довольно значительным, нужно поменять местами выводы от одной из обмоток анодного питания трансформатора $Тр_2$ и вновь подобрать величину резистора R_{16}. Резисторы R_7, R_{10}, R_{12} и R_{13}, включенные в цепи управляющих и экранирующих сеток выходных ламп, защищают оконечный каскад от возможного возникновения паразитной генерации и должны быть припаяны непосредственно к лепесткам ламповых панелей.

Каскад предварительного усиления напряжения звуковой частоты работает на верхнем (по схеме) триоде лампы $Л_1$. Нижний триод этой лампы служит для поворота фазы усиленного сигнала на 180°. Управление нижним триодом осуществляется через общий резистор R_5 в цепи катодов обеих триодов, так как этот каскад собран по схеме с «заземленной» по переменному току через конденсатор C_2 управляющей сеткой.

УСИЛИТЕЛИ С РАЗДЕЛЕНИЕМ ПОЛОСЫ ЗВУКОВЫХ ЧАСТОТ

В современных усилителях низкой частоты, предназначенных для работы в приемниках с широкополосной акустической системой, решающую роль играют разделение звуковых частот на полосы и подведение соответствующих частот к отдельным группам громкоговорителей.

Такое разделение необходимо главным образом для того, чтобы снизить возникающие в широкополосном низкочастотном тракте интермодуляционные искажения. Этот вид искажений, проявляющийся в том, что при сильной басовой передаче верхние звуковые частоты дополнительно модулируются нижними частотами, имеет место, когда полоса пропускания усилителя простирается от 40—60 до 12 000—15 000 *гц*. Несколько в меньшей степени проявляются интермодуляционные искажения в приемниках с низкочастотным трактом, рассчитанным на пропускание полосы звуковых частот от 80—100 до 5 000—7 000 *гц*.

Наиболее распространено разделение диапазона звуковых частот на полосы на выходе усилителя низкой частоты.

Подобные схемы уже рассматривались ранее (см. рис. 5—7). В этом случае устраняются интермодуляционные искажения, происхождение которых связано с нелинейностью в самих громкоговорителях, но остаются искажения, вызванные нелинейностью усилителя. Впрочем, последние, как правило, имеют меньшую величину.

Другой принцип разделения диапазона звуковых частот на две полосы проиллюстрирован рис. 32. В этой схеме к аноду оконечной лампы подключены два выходных трансформатора ($Тр_1$ и $Тр_2$). К первому подсоединены основные электродинамические громкоговорители $Гр_1$ и $Гр_2$, включенные последовательно и воспроизводящие нижние и средние частоты звукового спектра. К выходному трансформатору $Тр_2$ подключены электродинамические верхнечастотные громкоговорители $Гр_3$ и $Гр_4$, соединенные параллельно. Он подключен к аноду оконечной лампы через конденсатор C_2, емкость которого выбрана с таким расчетом, чтобы совместно с приведенным к первичной обмотке трансформатора сопротивлением громкоговорителей был образован фильтр, аналогичный ранее рассмотренному. Вследствие этого к трансформатору $Тр_2$ и громкоговорителям $Гр_3$ и $Гр_4$ подводятся только верхние частоты. Громкоговорители $Гр_1$ и $Гр_2$ воспроизводят в основном нижние и средние частоты, на пропускание которых рассчитан трансформатор $Тр_1$; этому также способствует включение цепочки RC_1. Приведенные к первичным обмоткам трансформаторов сопротивления громкоговорителей должны быть примерно равными, что обеспечивает правильное согласование лампы с нагрузкой и более равномерное излучение как верхних, так и нижних частот.

Рис. 32. Схема разделения полосы воспроизводимых усилителем звуковых частот на выходе оконечного каскада с помощью двух выходных трансформаторов.

Схемы разделения диапазона воспроизводимых частот на полосы на выходе оконечного каскада различаются лишь способом включения громкоговорителей. На первый взгляд кажется, что схемы с одним выходным трансформатором осуществить легче. Однако в действительности это не так. Ведь в этом случае выходной трансформатор должен быть широкополосным. Но для этого необходимо, чтобы индуктивность его первичной обмотки была по возможности большой, а индуктивность рассеяния — минимальной. Совместить эти требования весьма трудно, ибо для этого требуется применить значительных размеров стальной сердечник и чередование обмоток. Помимо этого, расчет, конструирование и изготовление широкополосного выходного трансформатора, предназначенного для подключения различных групп громкоговорителей, производить значительно труднее.

Другое дело, когда в оконечном каскаде усилителя низкой частоты имеются два самостоятельных выходных трансформатора. Тогда один из них должен пропускать только нижние и средние частоты звукового диапазона (от 40—80 до 3 000—5 000 *гц*). Этот выходной трансформатор по своим параметрам, размерам и конструкции мало чем отличается от обычного выходного трансформатора, применяемого в приемниках с простой акустической системой. Второй выходной трансформатор для подключения высокочастотных громкоговорителей должен пропускать только верхние звуковые ча-

стоты и поэтому может иметь небольшую индуктивность первичной обмотки (порядка 0,5—1,5 *гн*). Если такой трансформатор намотать, например, на стальном сердечнике из пластин типа УШ-12, то количество витков в его первичной обмотке будет невелико и принимать какие-либо специальные меры для уменьшения индуктивности рассеяния обычно не приходится.

ПРИМЕРЫ ВЫПОЛНЕНИЯ УСИЛИТЕЛЕЙ С РАЗДЕЛЕНИЕМ ПОЛОСЫ ЗВУКОВЫХ ЧАСТОТ НА ВЫХОДЕ ОКОНЕЧНОГО КАСКАДА

Среди многообразия электрических схем усилителей низкой частоты для акустических систем объемного звучания можно обнаружить различные варианты построения оконечного каскада, которые зависят как от класса приемника, так и от выбранного конструк-

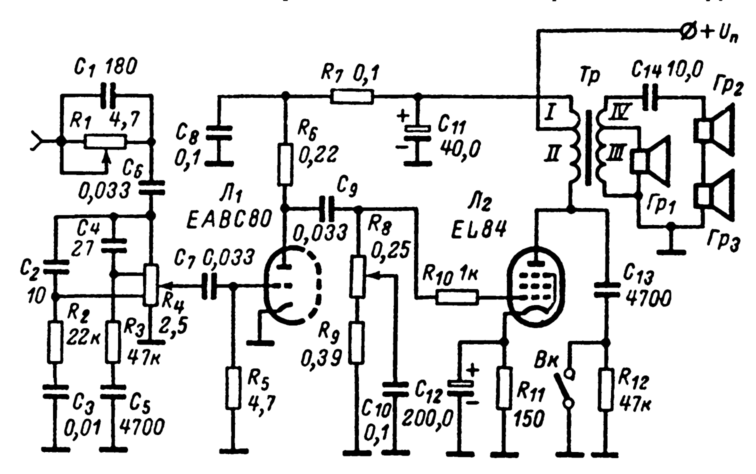


Рис. 33. Схема усилителя низкой частоты приемника с акустической системой объемного звучания.

тивного решения. Ниже мы познакомим читателей с некоторыми схемами усилителей низкой частоты для акустических систем объемного звучания, используемых в стационарных радиовещательных приемниках. На этих схемах показано лишь электрическое включение громкоговорителей, а конструктивное выполнение акустической системы должно выбираться радиолюбителем в зависимости от возможностей и назначения аппарата в соответствии с изложенными ранее соображениями.

Одна из простейших схем усилителя низкой частоты для приемника с акустической системой объемного звучания приведена на рис. 33. В ней применен один выходной трансформатор, ко вторичной обмотке которого подключен основной громкоговоритель $Гр_1$ для воспроизведения нижних и средних звуковых частот и два вы-

сокочастотных громкоговорителя $Гр_2$ и $Гр_3$. Как и в большинстве подобных усилителей, в рассматриваемой схеме применены регулятор громкости с тонкомпенсацией и раздельные регуляторы тембра нижних (R_1) и верхних (R_8) звуковых частот. Последние позволяют лишь ослаблять усиление на соответствующих частотах звукового диапазона, а подъем частотной характеристики осуществляется RC-цепочками тонкомпенсации и фильтром R_7C_8 в анодной цепи лампы $Л_1$. Замыкание накоротко резистора R_{12} выключателем *Вк* ослабляет усиление верхних частот при прослушивании передач АМ

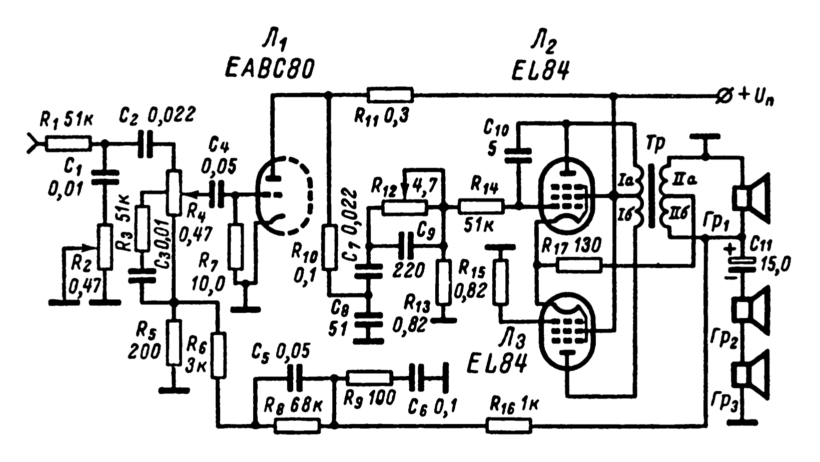


Рис. 34. Схема усилителя низкой частоты приемника с акустической системой объемного звучания и двухтактным оконечным каскадом.

радиостанций и воспроизведении граммофонных записей при скорости вращения диска 78 *об/мин.*

Один выходной трансформатор может быть использован и в усилителе с двухтактным оконечным каскадом. В качестве примера рассмотрим схему, приведенную на рис. 34.

Ее особенностью является отсутствие инверсного каскада. Обе оконечные лампы $Л_2$ и $Л_3$ имеют общий катодный резистор R_{17}, один вывод которого соединен с выводами катодов ламп, а другой — с отводом вторичной обмотки выходного трансформатора. Управляющая сетка лампы $Л_3$ соединена с шасси через резистор R_{15}. Таким образом, лампа $Л_3$ включена по схеме с «заземленной» управляющей сеткой. Оконечный каскад этого усилителя работает следующим образом. Напряжение звуковой частоты, усиленное лампой $Л_1$, подается на управляющую сетку лампы $Л_2$. Связь между оконечными лампами осуществляется через общий резистор R_{17}. Благодаря этому потенциал катодов обеих ламп изменяется пропорционально изменению напряжения на управляющей сетке лампы $Л_2$, вызываемому приходящим сигналом. Но управляющая сетка лампы $Л_3$ «заземлена», и ее потенциал не изменяется. Вследствие этого между управляющей сеткой и катодом действует переменное напряжение сигнала, близкое по амплитуде к напряжению сигнала,

приложенному между управляющей сеткой и катодом лампы $Л_2$. Например, если в какой-то момент времени потенциал управляющей сетки лампы $Л_2$ и катодов обеих ламп будет относительно шасси положительным, то потенциал управляющей сетки лампы $Л_3$ относительно ее катода будет в это время отрицательным. Таким образом, переменные напряжения на управляющих сетках оконечных ламп $Л_2$ и $Л_3$ относительно их катодов будут противоположны по фазе, что и требуется для нормальной работы двухтактного оконечного каскада.

Следует отметить, что из-за включения лампы $Л_3$ по схеме с «заземленной» управляющей сеткой и соединения ее управляющей

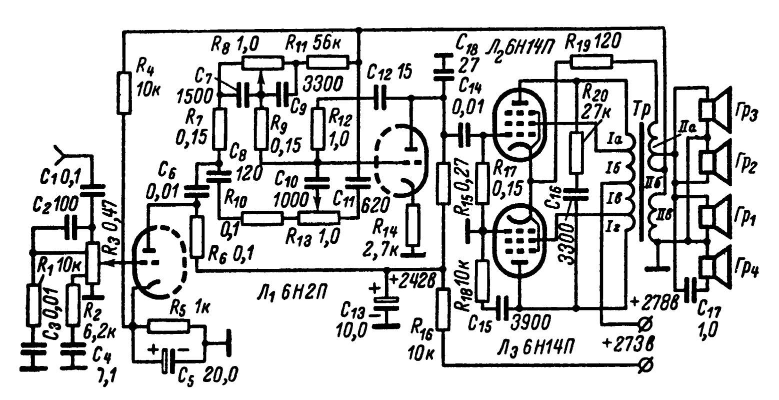


Рис. 35. Схема низкочастотного тракта приемника «Фестиваль».

сетки с общим минусом источника анодного питания через резистор большого сопротивления R_{15} на работу схемы заметно влияет емкость анод — управляющая сетка лампы $Л_3$, вызывающая отрицательную обратную связь. Для выравнивания несимметрии, которая при этом может возникнуть в оконечном каскаде, между управляющей сеткой и анодом лампы $Л_2$ включен конденсатор C_{10}, емкость которого подбирают в зависимости от типа ламп.

В схему усилителя также введены плавные и раздельные регуляторы тембра нижних (R_{12}) и верхних (R_2) звуковых частот, позволяющие ослаблять уровень сигнала на соответствующих частотах звукового диапазона, и тон-компенсированный регулятор громкости R_4. Необходимый для нормальной работы регуляторов тембра подъем частотной характеристики в области верхних и нижних звуковых частот осуществляется с помощью отрицательной обратной связи, напряжение которой снимается со вторичной обмотки выходного трансформатора и через сложную RC-цепочку подается на входные цепи усилителя.

По аналогичной схеме построен низкочастотный тракт отечественного приемника «Фестиваль» (рис. 35). Однако в этой схеме имеется и ряд отличий, направленных на улучшение электрических параметров усилителя. Здесь прежде всего следует отметить включение ламп оконечного каскада по ультралинейной схеме, что позволило значительно уменьшить нелинейные искажения. Кроме того,

управляющая сетка лампы $Л_3$ «заземлена» непосредственно, а не через резистор, как это было показано в предыдущей схеме. В анодную цепь этой же лампы включена цепочка $R_{18}C_{15}$, предназначенная для выравнивания частотной характеристики усилителя, а также для предохранения оконечного каскада от самовозбуждения. Еще одна цепочка $R_{20}C_{16}$ включена между анодами оконечных ламп. Следует отметить и отличное от предыдущей схемы включение катодного резистора оконечных ламп R_{19}, который подключен не к отводу вторичной обмотки выходного трансформатора, а к специаль-

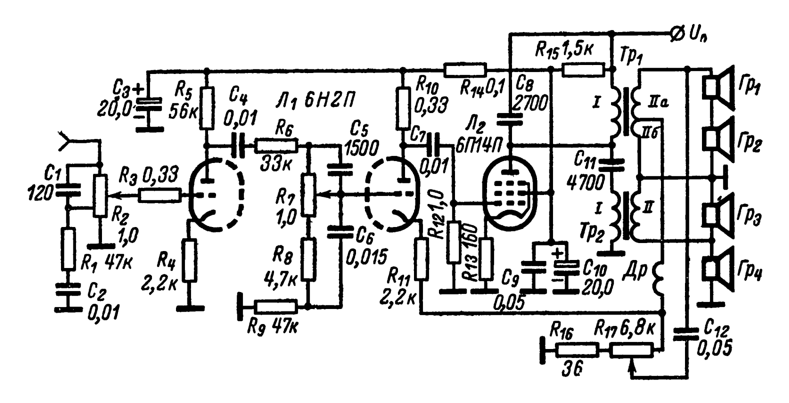


Рис. 36. Схема усилителя низкой частоты унифицированных приемников с акустической системой объемного звучания.

ной обмотке *IIа*, соединенной последовательно со вторичной обмоткой выходного трансформатора.

Интересна здесь и схема регулирования тембра. Регуляторы тембра нижних (R_8) и верхних (R_{13}) звуковых частот включены в цепь отрицательной обратной связи, напряжение которой снимается со вторичной обмотки выходного трансформатора и подается в цепь управляющей сетки правого (по схеме) триода лампы $Л_1$. Такая схема регулирования тембра дает возможность изменять усиление на соответствующих частотах в широких пределах (15—20 *дб*).

Выходной трансформатор *Тр* этого усилителя собран на сердечнике из пластин Ш-20 при толщине пакета 30 *мм*. Обмотки *Iа* и *Iг* содержат по 1 000, а обмотки *Iб* и *Iв* — по 250 витков провода ПЭЛ 0,14. Обмотка *IIа* содержит 30 витков, обмотка *IIб* — 15 витков, обмотка *IIв* — 35 витков провода ПЭЛ 0,69.

В выходном каскаде большинства отечественных приемников с акустической системой объемного звучания использовано два выходных трансформатора. Одна из таких схем приведена на рис. 36. Она рассчитана на использование четырех электродинамических громкоговорителей. Основные громкоговорители $Гр_1$ и $Гр_2$ расположены на передней стенке футляра и подключены к трансформатору $Тр_1$. Дополнительные громкоговорители верхних частот $Гр_3$ и $Гр_4$, в качестве которых обычно используют эллиптические громкоговорители, установлены на боковых стенках футляра и под-

ключены к трансформатору $Тр_2$, соединенному с анодом выходной лампы через конденсатор C_{11}. Усилитель имеет раздельные и плавные регуляторы тембра нижних (R_7) и верхних (R_{17}) звуковых частот и охвачен отрицательной обратной связью, напряжение которой снимается с отвода от вторичной обмотки выходного трансформатора $Тр_1$ и подается на катод правого (по схеме) триода лампы $Л_1$.

Трансформатор $Тр_1$ может быть собран на сердечнике из пластин УШ-16 при толщине пакета 24 *мм*. Обмотка *I* содержит

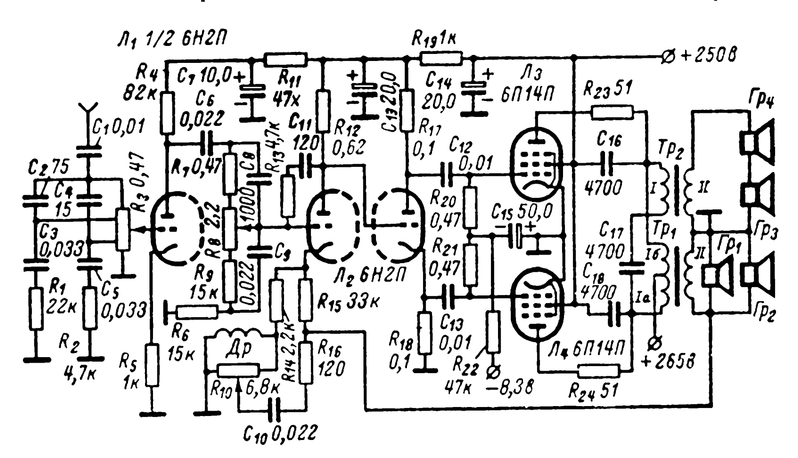


Рис. 37. Схема усилителя низкой частоты унифицированных приемников с акустической системой объемного звучания и двухтактным оконечным каскадом.

1 600 витков провода ПЭЛ 0,12, обмотка *IIа* — 90 и обмотка *IIб* — 3 витка провода ПЭЛ 0,64. Трансформатор $Тр_2$ собран из пластин УШ-9 при толщине пакета 12 *мм*. Обмотка *I* содержит 2 000 витков провода ПЭЛ 0,12, а обмотка *II* — 28 витков провода ПЭЛ 0,51. Дроссель *Др* индуктивностью 40 *мгн* намотан на каркасе диаметром 8 *мм* и содержит 2 900 витков провода ПЭЛ 0,12 (сопротивление обмотки постоянному току 165±15 *ом*).

Два выходных трансформатора могут быть использованы и в усилителе с двухтактным оконечным каскадом. В качестве примера рассмотрим приведенную на рис. 37 схему усилителя низкой частоты отечественной радиолы «Дружба». В акустической системе этой радиолы использовано четыре эллиптических громкоговорителя. Основные фронтальные громкоговорители $Гр_1$ и $Гр_2$ воспроизводят нижние и средние частоты звукового диапазона и подключены ко вторичной обмотке выходного трансформатора $Тр_1$, первичная обмотка которого непосредственно соединена с анодами выходных ламп. В качестве дополнительных громкоговорителей верхних частот (расположены на боковых стенках футляра) использованы громкоговорители $Гр_3$ и $Гр_4$ типа 1ГД-9. Они подключены к выходному трансформатору $Тр_2$, соединенному с анодами выходных ламп через конденсатор C_{17}.

На входе усилителя помещен тон-компенсированный регулятор громкости R_3. Регулятор тембра нижних частот R_8 установлен после первого каскада, а регулятор тембра верхних частот R_{10} расположен в цепи отрицательной обратной связи, напряжение которой снимается со вторичной обмотки выходного трансформатора $Тр_1$ и подается в цепь катода левого (по схеме) триода лампы $Л_2$.

Трансформатор $Тр_1$ собран на сердечнике из пластин УШ-19 при толщине пакета 28 *мм*. Обмотка *I* состоит из 1 140+1 140 вит-

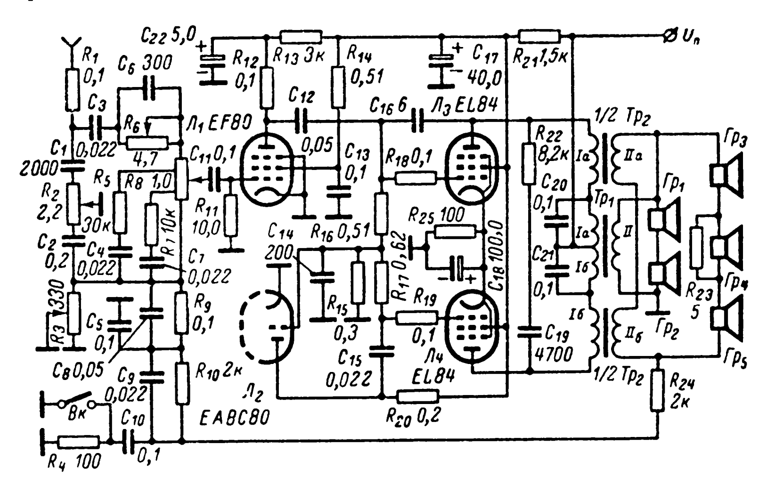


Рис. 38. Схема усилителя низкой частоты с двухтактным оконечным каскадом, в котором два выходных трансформатора включены последовательно.

ков провода ПЭЛ 0,15, а обмотка *II* — 70+70 витков ПЭЛ 0,38. Трансформатор $Тр_2$ собран из пластин УШ-9 при толщине пакета 12 *мм*. Обмотка *I* содержит 2 000 витков провода ПЭЛ 0,12, а обмотка *II* — 35 витков провода ПЭЛ 0,51. Дроссель *Др* индуктивностью 40 *мгн* намотан на каркасе диаметром 8 *мм* и содержит 2 900 витков провода ПЭЛ 0,12 (сопротивление обмотки постоянному току 165+15 *ом*).

Интересной для радиолюбителей может быть схема усилителя низкой частоты, приведенная на рис. 38. Для снижения интермодуляционных искажений разделение диапазона воспроизводимых приемником звуковых частот на полосы также производится в анодной цепи оконечных ламп. Между их анодами включены два выходных трансформатора ($Тр_1$ и $Тр_2$), первичные и вторичные обмотки которых включены последовательно.

Выходной трансформатор $Тр_1$ предназначен для подключения громкоговорителей нижних и средних звуковых частот $Гр_1$ и $Гр_2$. Что бы не пропускать к ним верхние частоты, первичная обмотка заблокирована конденсаторами C_{20} и C_{21}. Индуктивность первичной обмотки выходного трансформатора, к которому подключены высокочастотные громкоговорители $Гр_3$, $Гр_4$ и $Гр_5$, сделана небольшой, вследствие

чего он нижних звуковых частот не пропускает. Отрицательная обратная связь охватывает весь низкочастотный тракт приемника и является частотно-зависимой. Цепочка R_{24} C_{10} R_{10} C_5 способствует подъему верхних звуковых частот (наибольший подъем имеет место при замыкании выключателя *Вк*), а сложная цепь, включающая в себя конденсатор C_8 и резисторы, — увеличению усиления на нижних звуковых частотах. Конденсатор C_9 ослабляет частоты выше 13 000 — 15 000 *гц*.

Другой особенностью схемы усилителя низкой частоты, приведенной на рис. 39, является введение дополнительного регулятора R_3, включенного в цепь отрицательной обратной связи и названного фирмой «регулятором объемного звучания». При изменении величины сопротивления R_3 изменяется действие частотно зависимой отрицательной обратной связи. Влияние этого регулятора проявляется в основном на верхних звуковых частотах, которые прежде всего влияют на объемность звучания приемника. Помимо этого, на входе усилителя установлены регуляторы тембра нижних (R_6) и верхних (R_2) частот.

УСИЛИТЕЛИ С РАЗДЕЛЕНИЕМ ДИАПАЗОНА ЗВУКОВЫХ ЧАСТОТ НА ПОЛОСЫ ДО ОКОНЕЧНОГО КАСКАДА

Еще лучшие результаты можно получить от усилителя низкой частоты, если разделение диапазона зуковых частот, воспроизводимого приемником, сделать не на выходе низкочастотного тракта, а

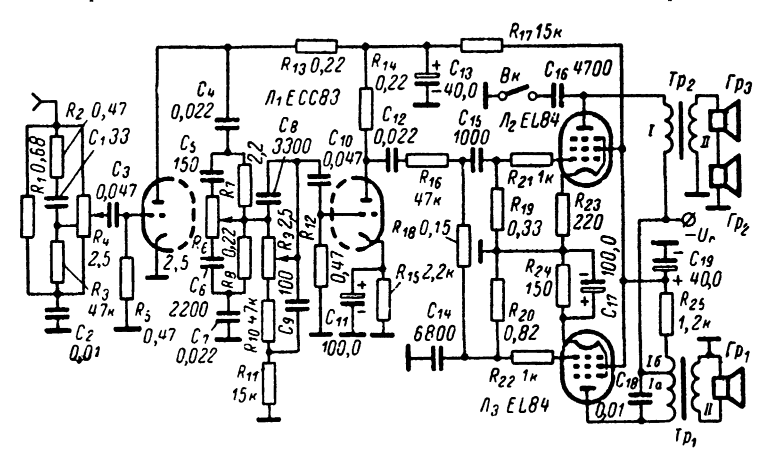


Рис. 39. Схема простого двухполосного усилителя низкой частоты с однотактными оконечными каскадами.

после каскада предварительного усиления сигнала. В этом случае усилитель будет иметь несколько каналов, каждый из которых будет усиливать определенную полосу частот. Обычно в радиовещательных приемниках диапазон звуковых частот разделяют на две полосы; такие усилители получили название двухполосных.

Основное преимущество двухполосных усилителей по сравнению с однополосными — минимальные интермодуляционные искажения. Помимо этого, имея раздельные оконечные каскады для нижних и верхних частот, удается добиться лучшего согласования акустической системы с электрическим трактом.

Одна из простых схем двухполосного усилителя низкой частоты приведена на рис. 39. Первые два каскада, работающие на двойном триоде $Л_1$, усиливают весь диапазон звуковых частот. Между первым и вторым каскадами помещены регуляторы тембра нижних (R_9) и верхних (R_6) частот.

Разделение диапазона звуковых частот на полосы производится после второго каскада. Верхние частоты проходят через фильтр $C_{15}R_{19}$ на управляющую сетку одной из оконечных ламп ($Л_2$), в анодную цепь которой включен выходной трансформатор $Тр_2$ с подключенными к нему громкоговорителями $Гр_2$ и $Гр_3$. Нижние и средние звуковые частоты выделяются фильтром $R_{18}C_{14}$ и подводятся к управляющей сетке второй оконечной лампы ($Л_3$). В ее анодную цепь включен другой выходной трансформатор ($Тр_1$), ко вторичной обмотке которого подключен громкоговоритель $Гр_1$.

Частота разделения выбрана здесь равной 800 *гц*; при этом интермодуляционные искажения получаются минимальными. Элементы схем оконечных каскадов подобраны так, чтобы звуковые частоты, выходящие за границу полосы, резко ослаблялись. Это также снижает нелинейные искажения.

При приеме радиостанций, работающих с амплитудной модуляцией, и проигрывании граммофонных пластинок в анодную цепь оконечной лампы $Л_2$ включается конденсатор C_{16}, сужающий диапазон воспроизводимых звуковых частот до 6 000—8 000 *гц*.

Рассмотренный усилитель хотя и значительно превосходит по своим электрическим параметрам однополосные, все же коэффициент нелинейных искажений в нем довольно высок. Значительно снизить нелинейные искажения можно лишь в том случае, если оконечные каскады выполнить по двухтактной схеме. В особенности это важно для каскада, работающего в области нижних частот, поскольку основная мощность реальных сигналов сосредоточена именно в этой полосе.

Одна из таких схем двухполосного усилителя низкой частоты приведена на рис. 40. Первые два каскада усиливают весь диапазон звуковых частот. Разделение производится после второго каскада. Нижние частоты через сложный *RC*-фильтр подводятся к инверсному каскаду, работающему на правом (по схеме) триоде лампы $Л_2$, и далее к оконечному каскаду, собранному по двухтактной схеме ($Л_3$ и $Л_4$). Регулятор тембра нижних частот (R_{11} и R_{12}) помещен на входе инверсного каскада и одновременно находится в цепи отрицательной обратной связи (она подается через резистор R_{19} со специальной обмотки *III* выходного трансформатора $Тр_1$). Балансировка оконечного каскада осуществляется переменным резистором R_{25}.

Оконечный каскад усиления верхних звуковых частот выполнен по однотактной схеме на лампе $Л_5$. Напряжение возбуждения подается на ее управляющую сетку через *RC*-фильтр, состоящий из резисторов R_{29}, R_{30} и R_{31} и конденсаторов C_{18}, C_{19} и C_{20}. Регулятор тембра верхних частот R_{28} может только ослаблять-эти частоты.

Следует отметить и интересную схему тон-компенсации при регулировании громкости. Здесь, помимо обычной цепочки R_1C_4, подключаемой к отводу регулятора громкости, введена отрицательная об-

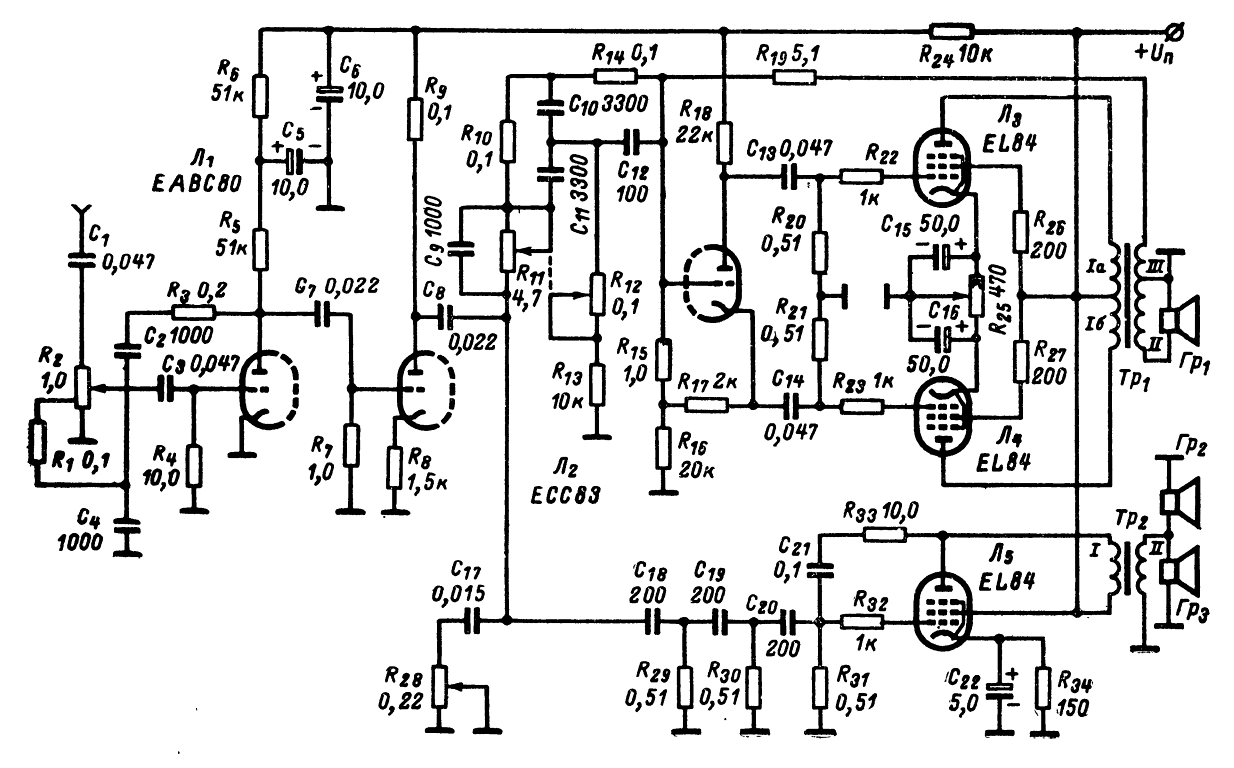


Рис. 40. Схема двухполосного усилителя низкой частоты с двухтактным оконечным каскадом для нижних частот.

ратная связь, охватывающая первый каскад усилителя. Эта обратная связь создается путем подачи напряжения с анода лампы $Л_1$ через резистор R_3 и конденсатор C_2 в цепь тон-компенсации. Элементы схемы подобраны с таким расчетом, что при малых уровнях сигнала, подводимого к управляющей сетке лампы $Л_1$, цепочка R_1C_4 повышает уровень нижних частот звукового диапазона, а отрицательная обратная связь—верхних звуковых частот. Такое регулирование громкости наиболее полно обеспечивает соответствие кривым равной громкости при простой конструкции переменного резистора.

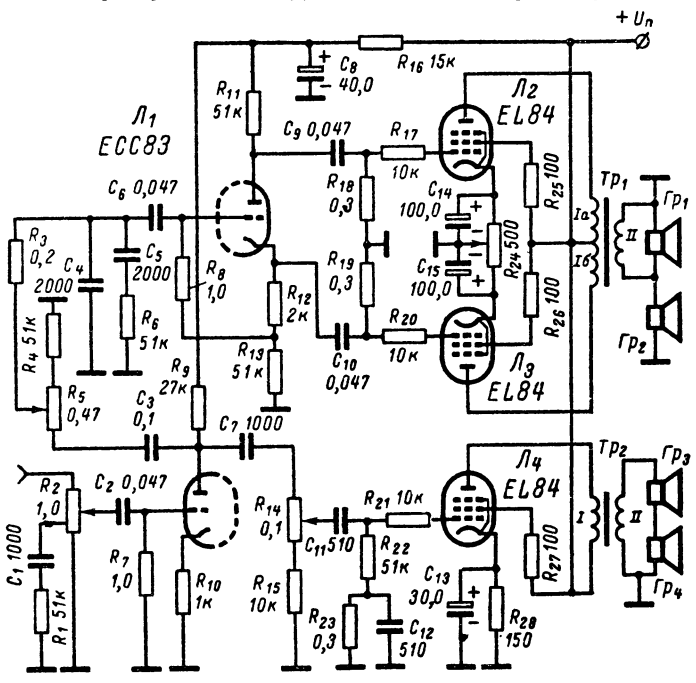


Рис. 41. Схема двухполосного усилителя низкой частоты с двухтактным оконечным каскадом для нижних частот и регуляторами тембра, включенными как регуляторы усиления соответствующих каскадов.

Следует отметить, что в дальнейшем в двухполосных усилителях низкой частоты стали применять более сложные схемы разделения диапазона звуковых частот на полосы. Это позволило упростить схемы включения регуляторов тембра, роль которых стали выполнять регуляторы усиления соответствующих каналов. Такой весьма простой способ регулировки тембра, осуществимый только в двухполосных усилителях, обеспечивает изменение частотной характеристики в широких пределах.

На рис. 41 показана схема двухполосного усилителя с регуляторами тембра, включенными как регуляторы усиления Первый каскад,

работающий на одном из триодов лампы $Л_1$, усиливает весь диапазон звуковых частот. Разделение происходит после первого каскада. Верхние частоты через конденсатор C_7 поступают на регулятор R_{14}, далее усиливаются оконечной лампой $Л_4$ и воспроизводятся высокочастотными громкоговорителями $Гр_3$ и $Гр_4$. В цепь управляющей сетки оконечной лампы включен сложный RC-фильтр верхних звуковых частот, состоящий из резисторов R_{14}, R_{15}, R_{22} и R_{23} и конденсаторов C_7, C_{11} и C_{12}.

Оконечный каскад для нижних звуковых частот выполнен по двухтактной схеме. В инверсном каскаде работает второй триод лампы $Л_1$. Нижние частоты с переменного резистора R_5, регулирующего их усиление, поступают на сетку верхнего (по схеме) триода лампы $Л_1$ через RC-фильтр нижних частот $R_3C_4C_5R_6$.

Резисторы R_4 и R_{15}, включенные последовательно с регуляторами тембра, нужны для того, чтобы не получилось полного ослабления соответствующих частот. Подбором сопротивлений этих резисторов можно изменять пределы регулирования тембра.

СТЕРЕОФОНИЧЕСКИЕ УСИЛИТЕЛИ

Не останавливаясь на способах и принципах передачи и приема стереофонических программ, укажем лишь, что стереофонический приемник должен иметь специальный детектор. Полученные после него напряжения соответствуют сигналам левого и правого каналов. Дальнейшее усиление сигналов производится низкочастотными усилителями, принципы построения которых мы и рассмотрим ниже.

Стереофонические усилители низкой частоты, применяемые в радиовещательных приемниках, электрофонах, магнитофонах и других устройствах, построены по двуканальной схеме; в большинстве случаев они имеют два идентичных по схеме и параметрам канала, смонтированных на общем шасси и подключенных к своим (также идентичным) громкоговорителям или акустическим системам. В стереофонических усилителях применяют, как правило, только спаренные регуляторы громкости и тембра. Для таких регуляторов отечественная промышленность выпускает переменные резисторы типа СП3-7 и СП3-12.

Вместе с тем стереофонические усилители должны быть рассчитаны и на монофоническое воспроизведение звука. Чаще всего переход на монофонический режим производят с помощью переключателя, который соединяет при этом оба входа каналов параллельно (такие переключатели на приводимых ниже схемах не показаны). Иногда на параллельную работу включают не целиком оба канала, а только их части, например оконечные каскады вместе с громкоговорителями или акустическими системами. В обоих случаях аппаратура с двумя громкоговорителями или акустическими системами работает подобно системам с объемным звучанием, что улучшает воспроизведение монофонических программ.

Две наиболее простые схемы стереофонических усилителей низкой частоты приведены на рис. 42 и 43. Каждый из них имеет два идентичных канала усиления (для простоты показана схема только левого канала). Усилитель, схема которого приведена на рис. 42, имеет каскад предварительного усиления сигнала, работающий на одном из триодов лампы $Л_1$, и оконечный каскад с лампой $Л_2$. На входе каждого канала установлен регулятор тембра верхних звуковых частот R_2 и регулятор громкости R_4 с RC-цепочкой для тон-компенсации, состоящей из резистора R_3 и конденсатора C_2. В стереофоническом

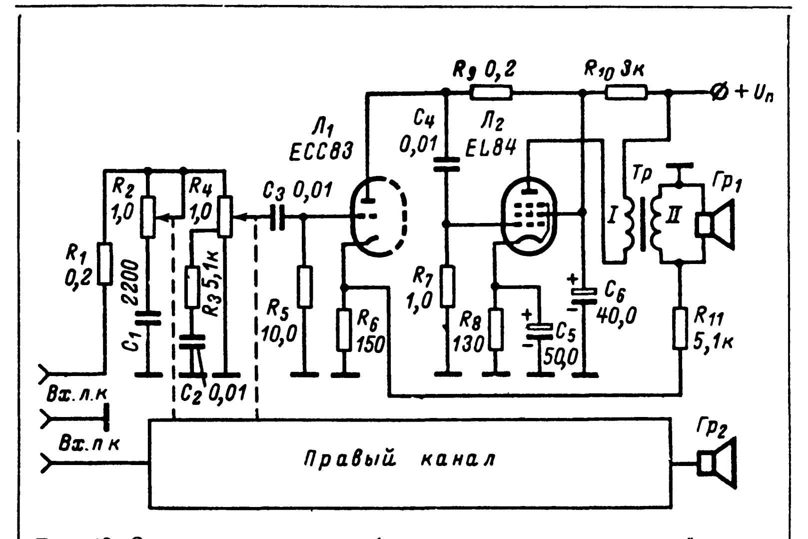


Рис. 42. Схема простого стереофонического усилителя низкой частоты с плавными регуляторами тембра верхних звуковых частот.

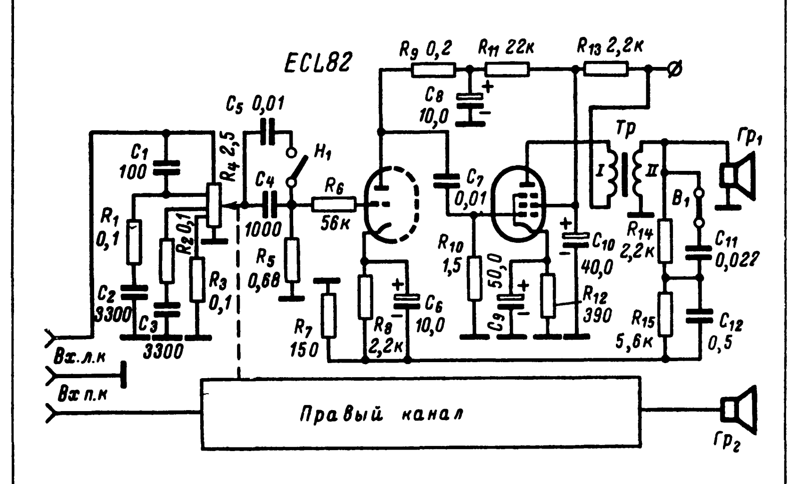


Рис. 43. Схема стереофонического усилителя низкой частоты с переключателями тембра.

усилителе такие RC-цепочки выполняют еще одну очень важную роль. Дело в том, что регуляторы громкости обоих каналов должны быть спарены, и, кроме того, при изменении уровня сигнала от максимального до минимального разница между уровнями в обоих каналах не должна превышать 3 *дб.* Для этого нужно выбирать переменные резисторы не только одинаковыми по номинальной величине, но и такими, чтобы при различных углах поворота их подвижного контакта величина сопротивления, включенного между управляющей сеткой лампы и шасси, также была одинаковой. Чтобы облегчить эту задачу, используют переменные резисторы с отводами, к которым подключают дополнительные резисторы, и подбирают их величину так, чтобы создать фиксированные точки полного баланса. Включение последовательно с этими резисторами дополнительных конденсаторов позволяет получить и тон-компенсацию при регулировании громкости. Необходимо отметить, что для хорошей работы стереофонического усилителя важно, чтобы отводы от обоих переменных резисторов были сделаны в одних и тех же по величине сопротивления точках и чтобы к ним были подключены одинаковые дополнительные резисторы. Наиболее полно этим требованиям удовлетворяют переменные резисторы указанных выше типов.

Для улучшения параметров усилителя в схему каждого канала введена отрицательная обратная связь, напряжение которой снимается со вторичной обмотки выходного трансформатора *Тр* и через резистор R_{11} подается на катод лампы $Л_1$.

Стереофонический усилитель, схема которого показана на рис. 43, содержит две лампы (два триода-пентода). На входе канала помещен регулятор громкости с тремя отводами для тон-компенсации. В усилителе применено ступенчатое регулирование тембра с помощью двух клавиш. При нажиме на клавишу подъема нижних звуковых частот замыкаются контакты $Н_1$, подключая параллельно конденсатору C_4 дополнительный конденсатор большой емкости C_5. Для подъема верхних звуковых частот нужно нажать другую клавишу. В этом случае размыкаются контакты $В_1$, отключая конденсатор C_{11}.

Схема еще одного стереофонического усилителя приведена на рис. 44. В отличие от предыдущих схем здесь осуществлено раздельное усиление средних и верхних частот и общее усиление нижних частот звукового диапазона. Последние воспроизводятся общим для обоих каналов громкоговорителем $Гр_1$, а средние и верхние звуковые частоты — раздельными для каждого канала громкоговорителями $Гр_2$ и $Гр_3$. Разделение частотного диапазона происходит следующим образом. Выходной трансформатор $Тр_1$ с большой индуктивностью первичной обмотки рассчитан в основном на передачу только нижних частот; этому же способствует и конденсатор C_{10}, блокирующий на высоких частотах его первичную обмотку. Ко вторичной обмотке этого выходного трансформатора подключен общий для обоих каналов громкоговоритель нижних звуковых частот $Гр_1$.

Последовательно с выходным трансформатором $Тр_1$ включены верхнечастотные выходные трансформаторы (для левого канала — трансформатор $Тр_2$). К их вторичным обмоткам подключены громкоговорители $Гр_2$ и $Гр_3$. Воспроизведение только верхних частот звукового спектра обеспечивается благодаря малым индуктивностям первичных обмоток этих трансформаторов.

Регулирование тембра в этом усилителе плавное, причем регулятор тембра нижних звуковых частот R_{17} общий для обоих каналов,

а регуляторы тембра верхних звуковых частот (R_{10}) раздельные для каждого канала, но объединены на одной оси.

Регулятор тембра нижних звуковых частот помещен в цепи отрицательной обратной связи, напряжение которой снимается со вторичной обмотки выходного трансформатора $Тр_1$ и через резисторы R_{12} и R_{18} вводится в катодные цепи лампы $Л_1$.

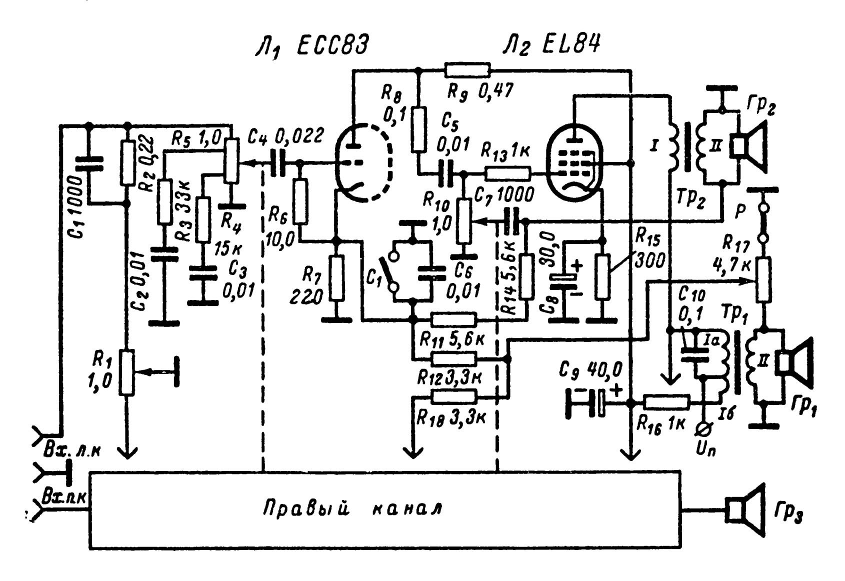


Рис. 44. Схема усилителя низкой частоты стереофонического приемника с общим для обоих каналов нижнечастотным громкоговорителем и регулятором стереобаланса.

Регулирование тембра верхних звуковых частот комбинированное. При нижнем (по схеме) положении движка переменного резистора R_{10} усиление верхних звуковых частот максимальное.

По мере передвижения ползунка переменного резистора R_{10} из нижнего положения в верхнее усиление верхних звуковых частот ослабляется за счет увеличения обратной связи через C_7. Когда движок переменного резистора R_{10} находится в верхнем крайнем положении, конденсатор C_7 оказывается подключенным к управляющей сетке оконечной лампы $Л_2$, что совместно с резистором R_8 приводит к еще большему ослаблению усиления на верхних звуковых частотах.

Помимо плавных регуляторов тембра, в схему усилителя введен тон-регистр с положениями «Речь», «Соло» и «Музыка». При нажиме на кнопку «Речь» размыкаются контакты $Р$, выключая из схемы регулятор тембра нижних частот и уменьшая усиление на этих частотах. При нажатии кнопки «Соло» замыкаются контакты $С$, выключая цепь частотно-зависимой отрицательной обратной связи. Кнопка «Музыка» контактов не имеет; она возвращает в исходное положение остальные кнопки.

В схему услителя введен еще один дополнительный регулятор— переменный резистор R_1, включенный на входе усилителя и получивший название регулятора стереобаланса. Как показал опыт эксплуатации стереофонических установок, этот элемент схемы важен, так как позволяет уравнивать громкости звучания обоих каналов и тем обеспечивает идентичность каналов по усилению. Однако это не единственная функция регулятора стереобаланса. С его помощью, оказывается, можно в некоторой степени исправить неудачное расположение приемника или акустической системы в помещении относитель-

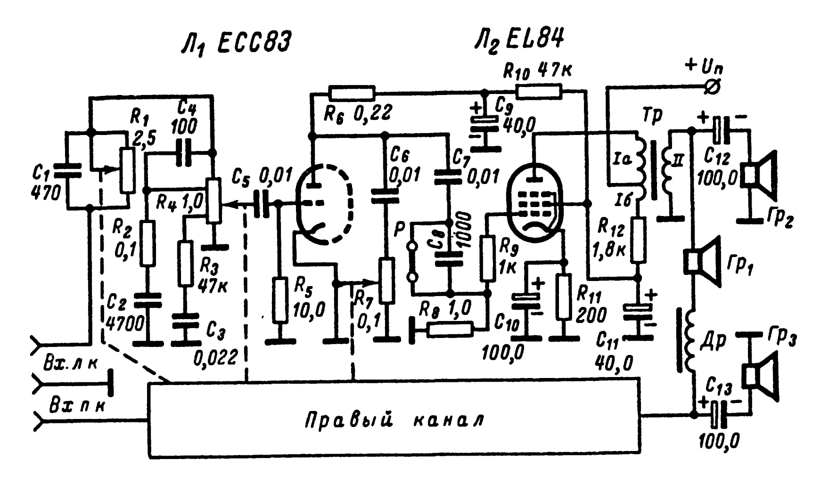


Рис. 45. Схема усилителя низкой частоты стереофонического приемника с общим для обоих каналов нижнечастотным громкоговорителем и тон-регистром.

но слушателей. Если, например, слушатели находятся ближе к левой акустической системе, чем к правой, то при прослушивании стереофонических программ «звуковая картина» сместится влево и стереофонический эффект может нарушиться. Чтобы отчасти скорректировать это нарушение, нужно уменьшить усиление в левом канале и увеличить его в правом. Эту задачу и выполняет регулятор стереобаланса.

Схема аналогичного стереофонического усилителя, где также имеются общий громкоговоритель для воспроизведения нижних частот и раздельные высокочастотные громкоговорители, показана на рис. 45. Отличается она от предыдущей тем, что в ней не три выходных трансформатора, а два. Громкоговоритель нижних звуковых частот $Гр_1$ соединен со вторичными обмотками обоих выходных трансформаторов через дроссель *Др*. Громкоговорители средних и верхних частот $Гр_2$ и $Гр_3$ подключены каждый к соответствующему выходному трансформатору через конденсаторы большой емкости C_{12} и C_{13}. Для правильной работы такой схемы необходимо, чтобы к низкочастотному громкоговорителю подводился суммарный сигнал обоих каналов. Этого можно достичь изменением включения вторич-

ной обмотки одного из трансформаторов; при этом для получения правильных фазовых соотношений на верхних частотах громкоговорители $Гр_2$ и $Гр_3$ должны иметь противоположную фазировку.

Регуляторы тембра нижних и верхних звуковых частот в этом усилителе плавные и раздельные. Регулятор тембра нижних частот R_1 помещен на входе усилителя, а регулятор тембра верхних частот R_7 — между каскадами. Помимо плавных регуляторов тембра, име-

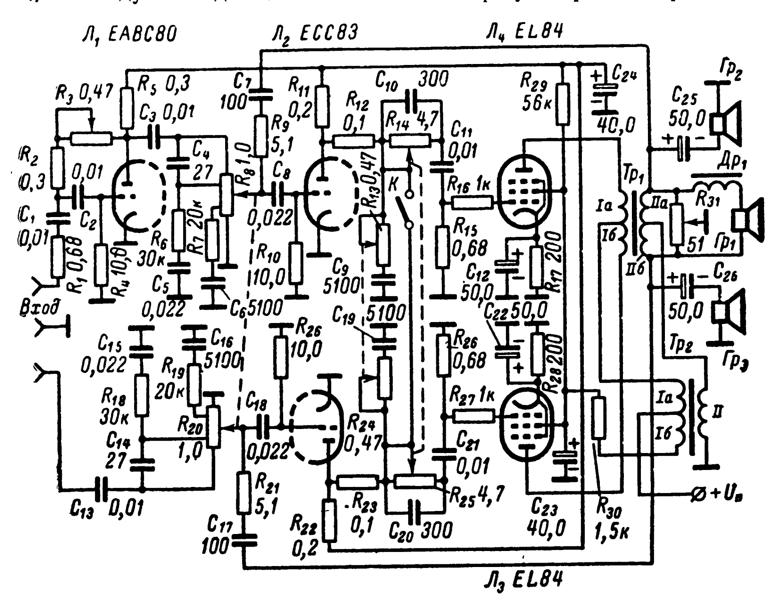


Рис. 46. Схема фантомного стереофонического усилителя низкой частоты.

ется еще и тон-регистр с положениями «Речь» и «Музыка». В положении «Речь» контакты *Р* размыкаются, включая последовательно с разделительным конденсатором C_7 дополнительный конденсатор малой емкости C_5 и уменьшая этим усиление на нижних частотах.

Выше мы отмечали, что при переходе на монофоническое прослушивание оба канала стереофонического усилителя включают на параллельную работу, создавая тем самым как бы установку с акустической системой объемного звучания. В крайнем случае можно использовать для монофонического воспроизведения только один канал. Однако лучшие результаты могут быть получены в том случае, когда однотактные оконечные каскады каналов переключают на работу в двухтактном режиме.

Несколько необычна и схема стереофонического усилителя, приведенная на рис. 46. Этот усилитель построен по так называемой фантомной схеме (фантомные схемы используются в проводной связи для передачи нескольких сигналов по одной паре проводов).

Чтобы уяснить принцип ее работы, рассмотрим рис. 47, на котором схема этого усилителя приведена в упрощенном виде.

Сигнал *A*, подаваемый на вход левого канала, поступает на фазоинверсную лампу $Л_1$. Режим ее работы выбран таким, чтобы усиление этого каскада равнялось единице. Затем сигнал *A* через регулятор громкости R_1 попадает на управляющую сетку оконечной лампы $Л_2$. Другой сигнал *B*, подводимый ко входу правого канала, попадает на управляющую сетку оконечной лампы $Л_3$ только через регулятор громкости R_2.

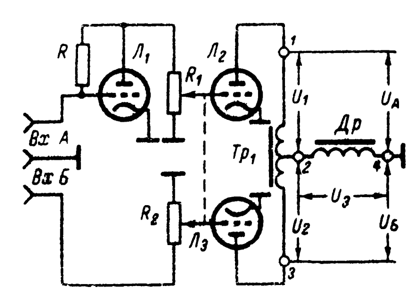


Рис. 47. Упрощенная схема фантомного стереофонического усилителя.

Нагрузкой оконечных ламп служат выходной трансформатор $Тр_1$ и дроссель *Др*. Для нормальной работы схемы необходимо, чтобы падения напряжения на половинах первичной обмотки выходного трансформатора и на обмотке дросселя были равны ($U_1 = U_2 = U_3$). Исходя из этого нужно выбирать отношения полных сопротивлений первичной обмотки трансформатора и обмотки дросселя.

Усиленный сигнал *A* проходит через верхнюю половину первичной обмотки выходного трансформатора (между точками *1* и *2*) и обмотку дросселя (точки *2* и *4*). Поскольку выходной трансформатор можно в данном случае рассматривать как автотрансформатор, то в нижней половине первичной обмотки (между точками *2* и *3*) возникает напряжение U_2, равное напряжению U_1, но сдвинутое по фазе на 180°. Поэтому для сигнала *A* падение напряжения между точками *1* и *4* будет равно $U_A = U_1 + U_3$, а между точками *3* и *4* падение напряжения для этого сигнала будет равно нулю ($U'_A = U_3 - U_2 = 0$).

Сигнал *B*, минуя фазоинверсную лампу и попадая сразу на оконечную лампу $Л_3$, проходит через нижнюю половину обмотки выходного трансформатора и обмотку дросселя. Здесь, как и в предыдущем случае, будут справедливы равенства $U_B = U_2 + U_3$ и $U'_B = U_3 - U_1 = 0$.

Таким образом, рассматриваемая схема способна пропускать два независимых сигнала. Если оба подводимых к усилителю сигнала равны по величине и одинаковы по фазе, то оконечный каскад этого усилителя работает, как обычный двухтактный каскад. Это имеет место, когда усилитель используют для монофонического воспроизведения, т. е. когда входные зажимы усилителя соединены между собой (включены параллельно). В этом случае при абсолютной симметричности выходного трансформатора, совершенно необходимой для данной схемы, действие дросселя *Др* компенсируется.

Как видно из схемы рис. 47, между точками *1* и *3* возникает сумма напряжений U_A и U_B. Поэтому к этим точкам следует подключать (через соответствующий фильтр) громкоговоритель, воспроизводящий только нижние звуковые частоты. Высокочастотные

же громкоговорители нужно подключать соответственно к точкам *1—4* и *3—4*.

Вернемся теперь к схеме на рис. 46 и рассмотрим прежде всего оконечные каскады. В анодные цепи оконечных ламп $Л_3$ и $Л_4$ включен симметричный двухтактный выходной трансформатор $Тр_1$. Роль дросселя (*Др* на рис. 47) выполняет здесь трансформатор $Тр_2$. Сложение низкочастотных сигналов и разделение средних и верхних звуковых частот происходят во вторичных обмотках этих трансформаторов. Для балансировки напряжений на вторичных обмотках трансформаторов в схему введен переменный резистор R_{31}. Поскольку положение движка этого переменного резистора определяет распределение энергии между выходными трансформаторами $Тр_1$ и $Тр_2$, регулировать его следует так, чтобы обеспечивалось наибольшее переходное затухание между каналами. Данная схема позволяет получить на средних и верхних звуковых частотах переходное затухание между каналами не менее 26 *дб*.

Акустическая система к этому усилителю состоит из трех громкоговорителей, один из которых (низкочастотный $Гр_1$) подключен ко вторичной обмотке выходного трансформатора $Тр_1$ через дроссель $Др_1$, а два других (высокочастотные $Гр_2$ и $Гр_3$) — через конденсаторы большой емкости C_{25} и C_{26}; при этом граничная частота перехода при стереофоническом воспроизведении получается около 500 *гц*.

Фазоинверсный каскад работает на лампе $Л_1$. Этот каскад охвачен глубокой отрицательной обратной связью, напряжение которой снимается с резистора анодной нагрузки этой лампы и через резисторы R_2 и R_3 подается на управляющую сетку этой же лампы. С помощью переменного резистора R_3 можно изменять коэффициент усиления фазоинверсного каскада на 30%.

При стереофоническом воспроизведении переменный резистор R_3 может быть использован как регулятор стереобаланса. Чтобы при монофоническом воспроизведении усиление обоих каналов можно было установить одинаковым, введена кнопка *К*. Замкнув ее контакты, изменяют сопротивление переменного резистора R_3 до тех пор, пока громкость монофонической передачи не станет минимальной. Затем контакты этой кнопки размыкают и слушают передачу.

Регуляторы тембра верхних (R_{13} и R_{24}) и нижних (R_{14} и R_{25}) звуковых частот помещены перед оконечным каскадом и позволяют изменять усиление на соответствующих частотах звукового диапазона.

Каждый канал усилителя охвачен частотно-зависимой отрицательной обратной связью, напряжение которой снимается со вторичной обмотки выходного трансформатора $Тр_1$ и через цепочки R_9C_7 и $R_{21}C_{17}$ подается в цепи управляющих сеток триодов лампы $Л_2$. При модернизации этого усилителя в его схему был введен тон-регистр с двумя кнопками «Речь» и «Музыка» (на рис. 46 не показан). В положении «Речь» движки переменных резисторов R_{14} и R_{25} отключаются от схемы, вследствие чего значительно ослабляется усиление на нижних звуковых частотах; исключаются из схемы и регуляторы тембра нижних звуковых частот. Кнопка «Музыка» контактов не имеет. При нажиме на нее кнопка «Речь» возвращается в исходное положение, включая обратно движки переменных резисторов и регуляторы тембра нижних звуковых частот.

Еще одна схема стереофонического усилителя низкой частоты приведена на рис. 48. В этой схеме нижние частоты звукового

спектра обоих каналов с помощью фильтров $R_1C_1R_2$ и $R_3C_3R_4$ смешиваются на входе усилителя и далее усиливаются обоими каналами. При этом оконечные лампы $Л_3$ и $Л_4$ каждого из стереофонических каналов работают на этих частотах совместно, образуя двухтактный оконечный усилитель для нижних звуковых частот. Лампа $Л_2$ изменяет фазу сигнала в левом канале на 180°, что необходимо для нормальной работы двухтактного каскада. Чтобы не вносить рассогласования в уровни сигналов, коэффициент усиления этого каскада равен единице.

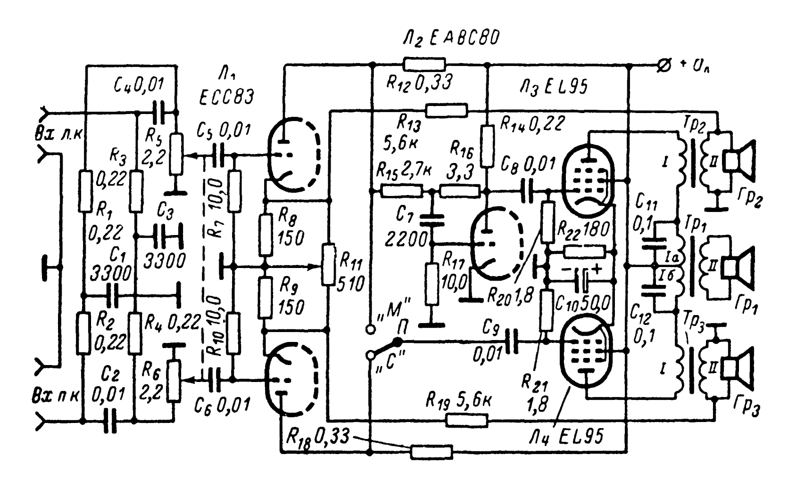


Рис. 48. Схема стереофонического усилителя низкой частоты с двухтактным усилителем для нижних звуковых частот.

Верхние звуковые частоты усиливаются каждым каналом в отдельности и воспроизводятся громкоговорителями $Гр_2$ и $Гр_3$, которые в данной модели приемника сделаны выносными.

В анодные цепи оконечных ламп $Л_3$ и $Л_4$ включены три выходных трансформатора. К трансформатору $Тр_1$ подключен общий для обоих каналов громкоговоритель нижних звуковых частот $Гр_1$. Для подавления верхних звуковых частот первичная обмотка этого трансформатора заблокирована конденсаторами C_{11} и C_{12}. К двум другим выходным трансформаторам $Тр_2$ и $Тр_3$ подключены высокочастотные громкоговорители $Гр_2$ и $Гр_3$, работающие в различных каналах. Так как фаза сигнала левого канала повернута лампой $Л_2$ на 180° по отношению к сигналу правого канала, то для правильного воспроизведения стереофонического сигнала на верхних звуковых частотах нужно изменить включение одной из обмоток одного из выходных трансформаторов для верхнечастотных громкоговорителей, чем и компенсируется фазовый сдвиг в одном из каналов.

Каждый из каналов этого усилителя охвачен отрицательной обратной связью, напряжение которой снимается со вторичных обмоток высокочастотных выходных трансформаторов и через резисторы R_{13} и R_{19} подается в цепи катодов триодов лампы $Л_1$. В эти же це-

ли включен и регулятор стереобаланса R_{11}. Регулировка усиления с его помощью происходит путем изменения величины отрицательной обратной связи, которая благодаря такому построению схемы проявляется в основном только на средних и верхних частотах звукового диапазона.

Усилитель снабжен и переключателем *П* для переключения со стереофонического воспроизведения на монофоническое. В последнем случае сохраняется режим двухтактной работы оконечного каскада на нижних частотах, а монофонический сигнал при этом следует подводить ко входу левого канала.

На схеме не показаны плавные регуляторы тембра, которые включены на входе усилителя; для их работы предусмотрен еще один каскад предварительного усиления, работающий на двойном триоде — лампе типа ЕСС83.

Как и монофонические усилители, -усилители для стереофонического воспроизведения могут быть построены не только на лампах, но и на транзисторах. Свидетельство этого — многочисленные модели приемников, электрофонов и магнитофонов. Особенно широко применяются транзисторы в схемах радиокомплексов высококачественных электроакустических установок, где оконечный усилитель имеет большую выходную мощность. Знакомство с транзисторными усилителями для стереофонического воспроизведения мы начнем с наиболее простых.

На рис. 49 приведены две схемы таких усилителей. Первая из них (рис. 49, *а*) отличается от подобных схем, используемых в переносных приемниках, повышенной выходной мощностью (до 1 *вт*) и наличием плавных и раздельных регуляторов тембра верхних (R_{16}) и нижних (R_{18}) звуковых частот. Первый из них помещен в цепи коллектора транзистора T_2, а второй — в цепи эмиттера того же транзистора. Регулирование тембра осуществляется путем изменения величины отрицательной обратной связи. Усилитель имеет также регулятор стереобаланса R_4, помещенный на входе усилителя.

Схема другого стереофонического усилителя приведена на рис. 49, *б*. В ней оконечный каскад построен по бестрансформаторной схеме, а регулятор стереобаланса — спаренный переменный резистор R_6 — помещен после входного каскада — эмиттерного повторителя. Плавные регуляторы тембра верхних (R_{24}) и нижних (R_{27}) звуковых частот находятся в цепи отрицательной обратной связи, напряжение которой снимается с выхода усилителя и подается в цепь эмиттера транзистора T_2.

Еще две аналогичные схемы стереофонических усилителей приведены на рис. 50. Их объединяет интересная особенность — отсутствие регулятора стереобаланса, функцию которого выполняют раздельные регуляторы громкости. Действительно, когда каждый канал имеет самостоятельный регулятор громкости, уровень сигнала в одном из каналов можно изменять независимо от уровня сигнала в другом канале. Чтобы можно было регулировать громкость воспроизведения в обоих каналах одновременно, регуляторы громкости обычно механически объединяют, т. е. имеют на одной оси две ручки, одновременно вращая которые и производят регулирование уровня сигнала в обоих каналах.

Другое отличие этих схем от предыдущих — большое входное сопротивление, что позволяет подключить пьезоэлектрический звукосниматель, тогда как остальные усилители требуют для этого специальный каскад для согласования или включения последователь-

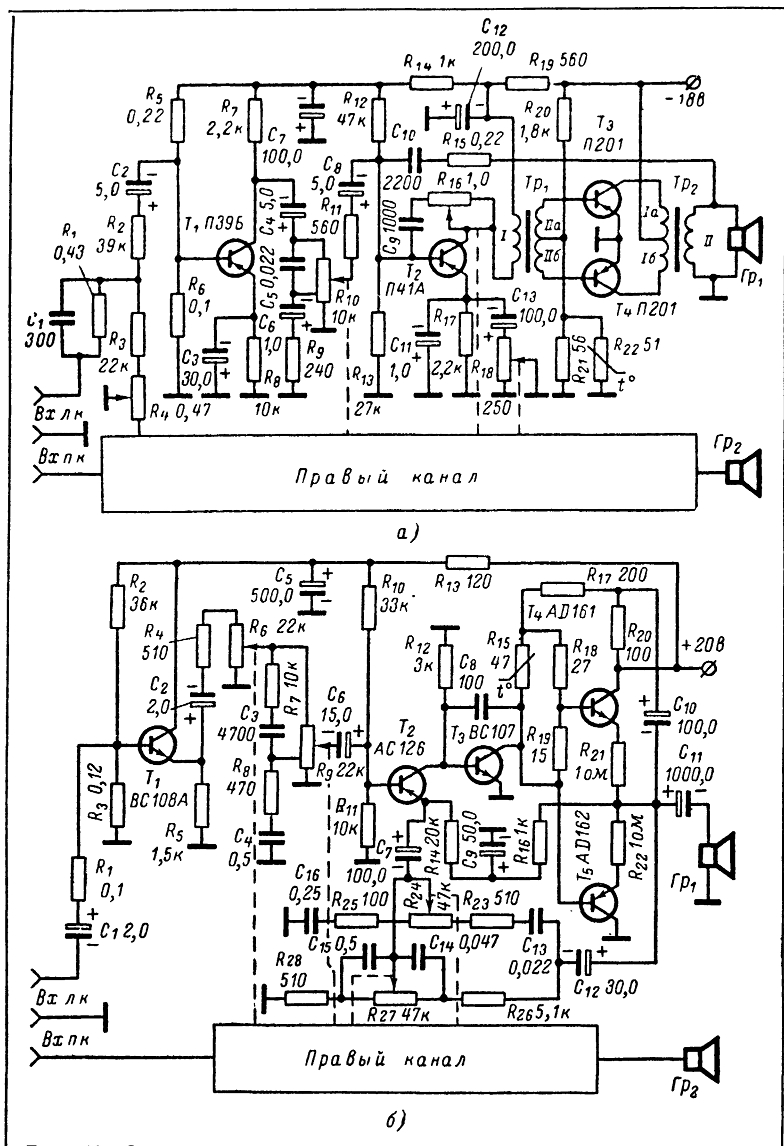


Рис. 49. Схемы транзисторных стереофонических усилителей низкой частоты.

а — с оконечным каскадом на трансформаторах; *б* — с бестрансформаторным оконечным каскадом

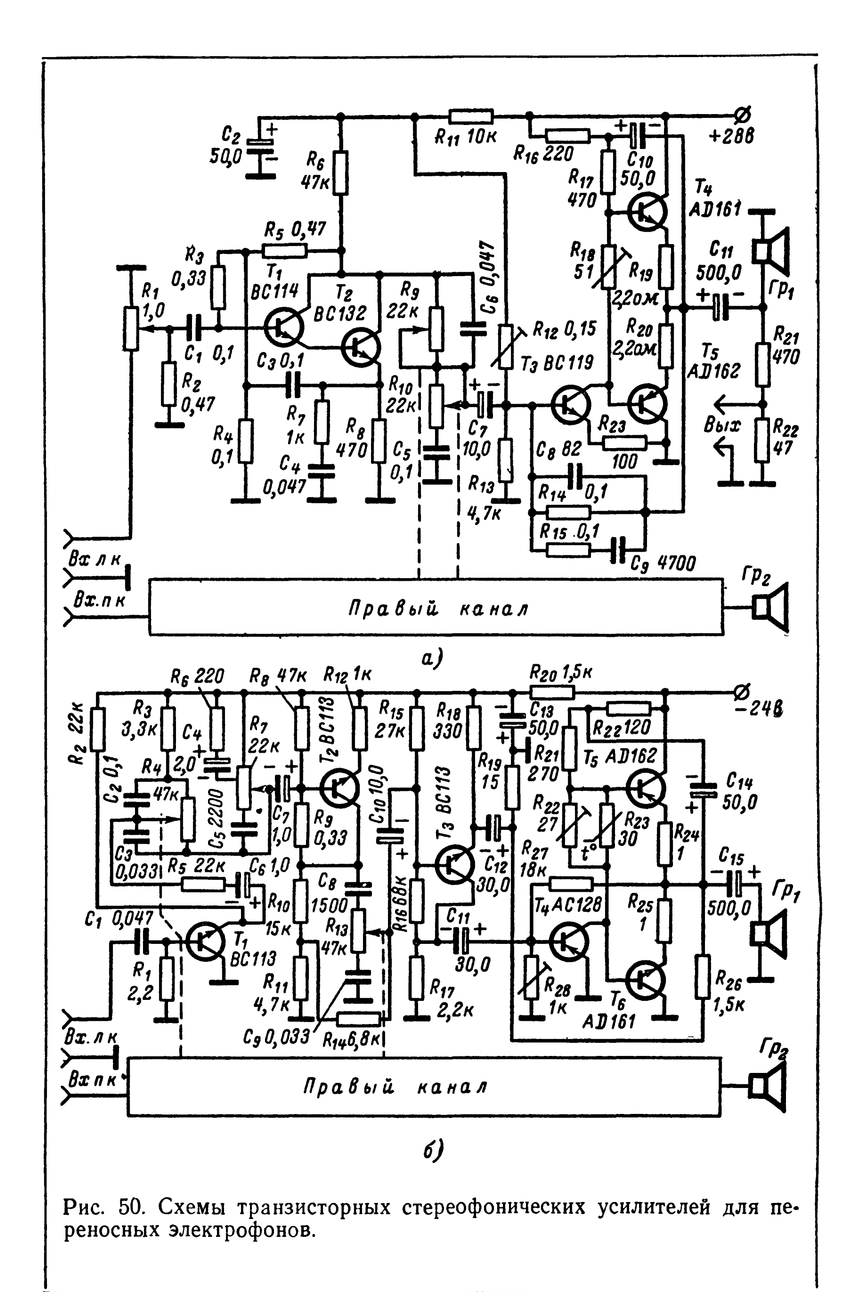


Рис. 50. Схемы транзисторных стереофонических усилителей для переносных электрофонов.

ного резистора с достаточно большим сопротивлением. В последнем случае усилитель должен иметь запас по усилению, или для этого приходится добавлять еще один-два каскада предварительного усиления сигнала.

В схеме, приведенной на рис. 50, *а*, входной каскад построен на двух транзисторах T_1 и T_2 с непосредственной связью между ними. Благодаря отсутствию конденсатора, блокирующего резистор R_8 в цепи эмиттера транзистора T_2, возникает отрицательная обратная связь, увеличивающая входное сопротивление усилителя. Кроме того, в рассматриваемой схеме благодаря включению конденсатора C_3

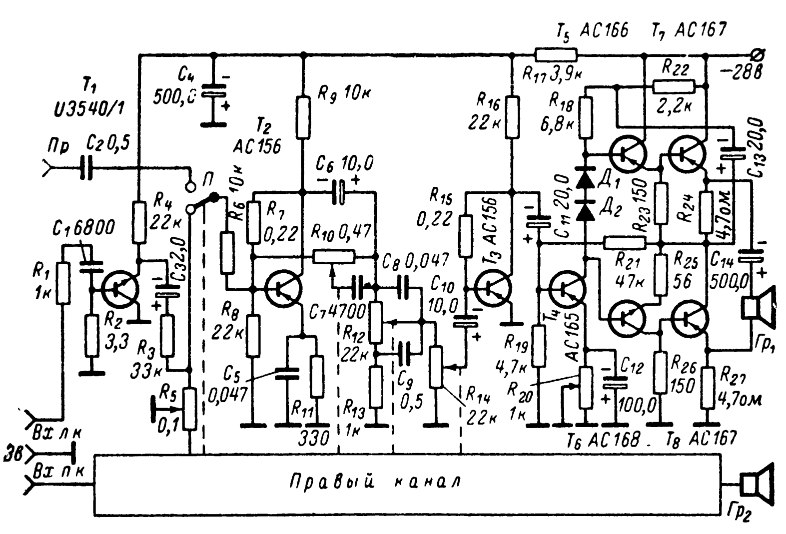


Рис. 51. Схема низкочастотного тракта транзисторного стереофонического приемника.

и резистора R_3 ограничено шунтирующее влияние делителя напряжения R_4R_5 в цепи базы транзистора T_1.

Регуляторы тембра нижних (R_9) и верхних (R_{10}) частот расположены в цепи усиления сигнала и позволяют лишь ослаблять соответствующие частоты. Подъем их осуществляется частотно-зависимой отрицательной обратной связью, напряжение которой снимается с выхода усилителя и через цепочку $R_{14}R_{15}C_8C_9$ подводится к базе транзистора T_3.

Из дополнительных нововведений следует отметить наличие выходных гнезд *Вых*, напряжение на которые подается с делителя на выходе усилителя, состоящего из резисторов R_{21} и R_{22}. С этих гнезд сигнал можно подавать на дополнительный усилитель большой мощности или на вход магнитофона для записи.

В стереофоническом усилителе, схема которого показана на рис. 50, *б*, входной каскад выполнен по схеме эмиттерного повторителя, что также обеспечивает большое входное сопротивление. Регу-

ляторы тембра нижних (R_4) и верхних (R_{13}) частот в этом усилителе также помещены в цепи усиления сигнала, но в отличие от предыдущей схемы они могут как увеличивать, так и ослаблять уровень сигнала на крайних частотах полосы пропускания по отношению к средним частотам.

Схема еще одного низкочастотного тракта стереофонического приемника показана на рис. 51. Она отличается повышенной выходной мощностью (5 *вт*) и возможностью подключения пьезоэлектрического звукоснимателя. Последнее осуществляется благодаря введению согласующего каскада на транзисторе T_1, выполненного по схеме эмиттерного повторителя, а переход с одного вида работы на другой производится с помощью переключателя *П*. Из особенностей схемы этого усилителя следует отметить подключение громкоговорителя к эмиттерам транзисторов T_7 и T_8. Благодаря такому включению резисторы R_{24} и R_{27}, включенные для повышения термостабильности схемы, не влияют на величину выходного сопротивления оконечного каскада, что увеличивает к.п.д. усилителя.

Усилитель имеет плавные и раздельные регуляторы тембра. Регулятор тембра нижних частот R_{12} включен в цепь усиления сигнала и может как повышать, так и ослаблять уровень этих частот. Регулятор верхних частот R_{10} включен в цепь отрицательной обратной связи и может только ослаблять уровень сигнала на этих частотах. Переменный резистор R_5 является регулятором стереобаланса.

На рис. 52 показана схема усилителя низкой частоты стереофонической радиолы «Рига-101». Этот усилитель имеет выходную мощность каждого канала 1,5 *вт* при максимальной выходной мощности до 5 *вт*. Чувствительность усилителя не ниже 10 *мв*. Поэтому при проигрывании граммофонных пластинок звукосниматель подключают ко входу усилителя через последовательно включенный резистор с сопротивлением 470 *ком*. Диапазон пропускаемых усилителем звуковых частот лежит в пределах от 45 до 18 000 *гц*.

Оконечный каскад, собранный по двухтактной бестрансформаторной схеме, нагружен на два громкоговорителя: $Гр_1$ типа 4ГД-5, воспроизводящий нижние и средние частоты, и $Гр_2$ типа 1ГД-3, подключенный через конденсатор C_{23} и предназначенный для воспроизведения только верхних частот. Усилитель охвачен отрицательной обратной связью, напряжение которой с выхода через подстроечный резистор подается в цепь эмиттера транзистора T_3. Другой подстроечный резистор R_{25} служит для симметрирования оконечного каскада. Входные каскады усилителя, работающие на транзисторах T_1 и T_2, также охвачены отрицательной обратной связью, напряжение которой снимается с коллектора транзистора T_2 и подается на эмиттер транзистора T_1. В эту цепь включен регулятор стереобаланса — переменный резистор R_8.

Усилитель снабжен раздельными и плавными регуляторами тембра верхних (R_{15}) и нижних (R_{35}) частот; они помещены между вторым и третьим каскадами и обеспечивают регулировку в пределах 18—20 *дб*.

В высококачественных стереофонических установках и радиокомплексах обычно используют усилители с оконечным каскадом, рассчитанным на большую выходную мощность. В каждую стереофоническую установку должно входить два оконечных усилителя с соответствующими акустическими системами (см. рис. 30, 31). Как видно из рисунков, приведенные схемы оконечных усилителей не имеют регуляторов громкости и тембра. Объясняется это тем, что в

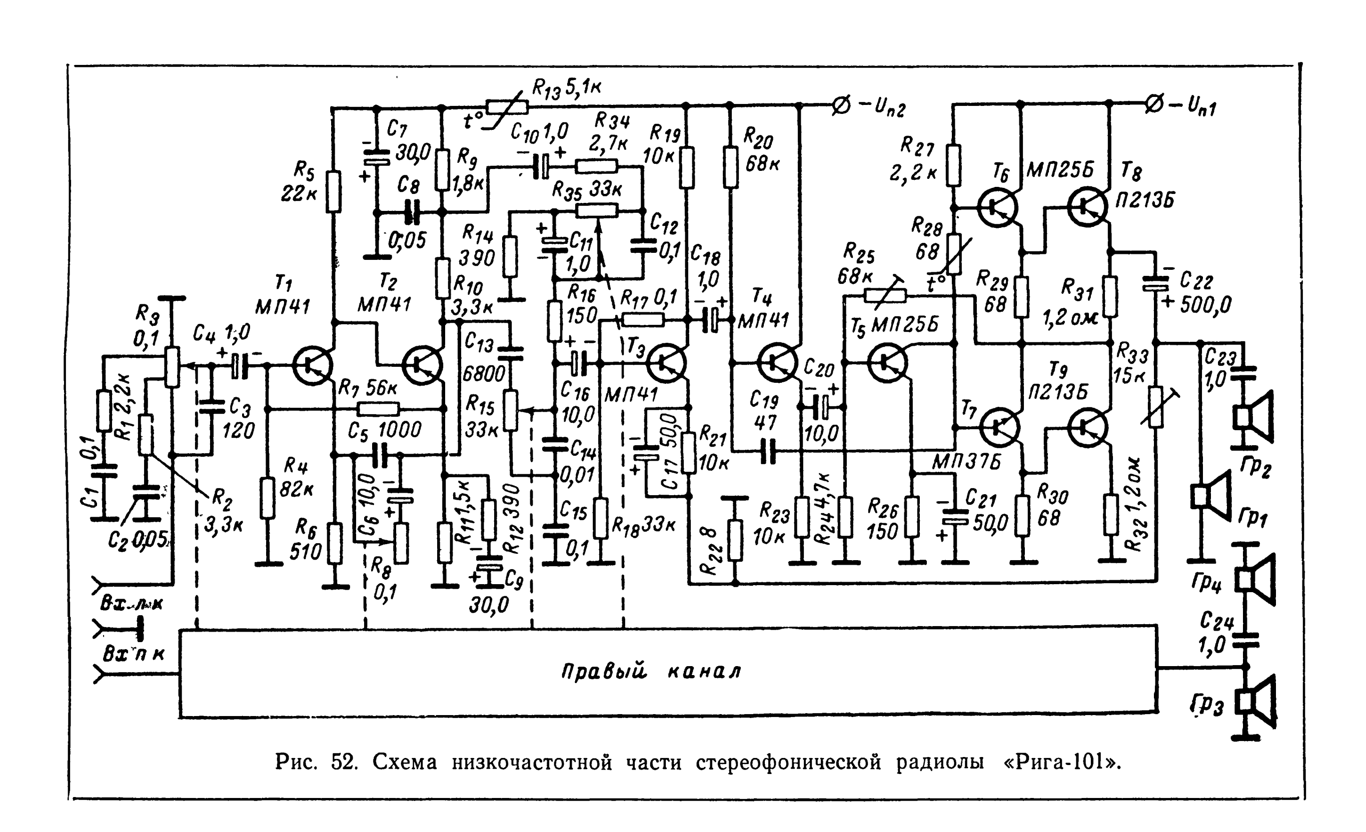


Рис. 52. Схема низкочастотной части стереофонической радиолы «Рига-101».

подобные устройства еще входят предварительные усилители, выполняющие различные функции. Помимо основных органов регулирования уровня воспроизведения, плавной регулировки тембра верхних и нижних частот, регулирования стереобаланса, в предварительные усилители еще включают корректоры частотной характеристики при работе от пьезоэлектрического и электромагнитного или электродинамического звукоснимателя, тон-регистры и другие подобные устройства, которые создают удобства при эксплуатации радиокомплекса.

В качестве примера на рис. 53 приведены схемы двух простых предварительных усилителей, предназначенных для работы с транзисторными оконечными усилителями большой мощности. Обе они содержат только основные элементы регулировок.

В схеме, изображенной на рис. 53, *а*, помимо плавных и раздельных регуляторов тембра нижних (R_{11}) и верхних (R_{13}) звуковых частот, помещенных в цепи усиления сигнала, имеются еще компенсированный регулятор громкости R_2 и регулятор стереобаланса R_6. Коэффициент усиления по напряжению этого усилителя на частоте 1 000 *гц* около 10. Регуляторы тембра обеспечивают как подъем, так и завал частотной характеристики на крайних частотах звукового диапазона. Пределы регулирования тембра около 20 *дб* на частотах 50 и 18 000 *гц*. Регулятор стереобаланса установлен в цепи эмиттера транзистора T_1.

Усилитель имеет довольно большое входное сопротивление, что позволяет непосредственно подключить к его входу электромагнитный или электродинамический звукосниматель. Пьезоэлектрический звукосниматель подключают через последовательно включенный резистор с сопротивлением 300 *ком*.

Схема, приведенная на рис. 53, *б*, отличается от предыдущей способом включения регуляторов тембра верхних (R_7) и нижних (R_8) звуковых частот и регулятора стереобаланса R_{15}, который установлен на выходе. Параметры этого усилителя примерно те же, что и показанного на рис. 53, *а*.

Выше мы говорили, что в современных усилителях, работающих с электромагнитными или электродинамическими звукоснимателями, предусматриваются специальные корректирующие каскады, которые либо входят составной частью в предварительный усилитель, либо ими снабжают электропроигрыватель, где корректирующий усилитель обычно бывает выполнен в виде самостоятельной конструкции и имеет автономное питание.

Зачем нужен корректирующий усилитель, или, как его обычно называют, корректор? При производстве граммофонных пластинок по ряду причин целесообразно иметь в канале записи неравномерную частотную характеристику, которая на частоте 50 *гц* имела бы завал около 17 *дб*, а на частоте 15 000 *гц* такой же величины подъем по отношению к частоте 1 000 *гц*. Применяемые в большинстве электропроигрывателей и электрофонов пьезоэлектрические звукосниматели имеют частотную характеристику, обратную характеристике записи. Поэтому при проигрывании граммофонных пластинок такими звукоснимателями система пластинка — звукосниматель имеет плоскую частотную характеристику, не требующую ее корректировки.

Другое дело, когда в электропроигрывателе или электрофоне используют электромагнитный или электродинамический звукосниматель, имеющий прямолинейную частотную характеристику. В этом

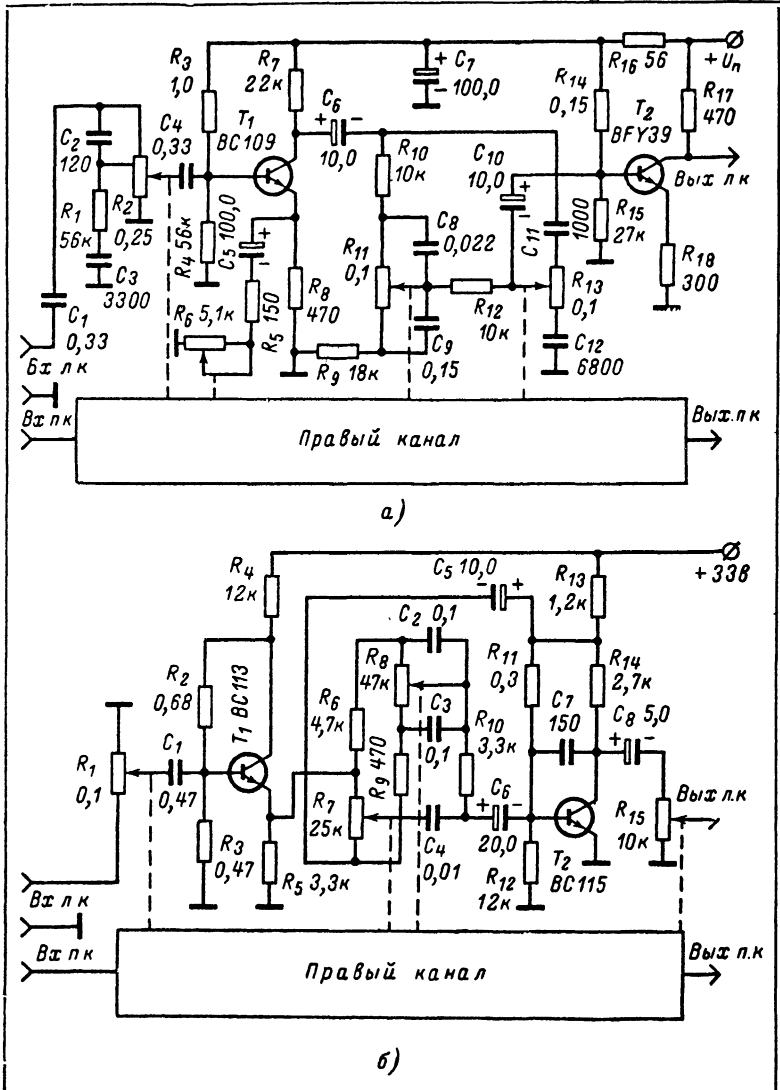


Рис. 53. Схемы простых предварительных усилителей для стереофонических установок с транзисторными оконечными усилителями большой мощности.

а — с регуляторами тембра в цепи усиления сигнала; *б* — с регуляторами тембра в цепи отрицательной обратной связи.

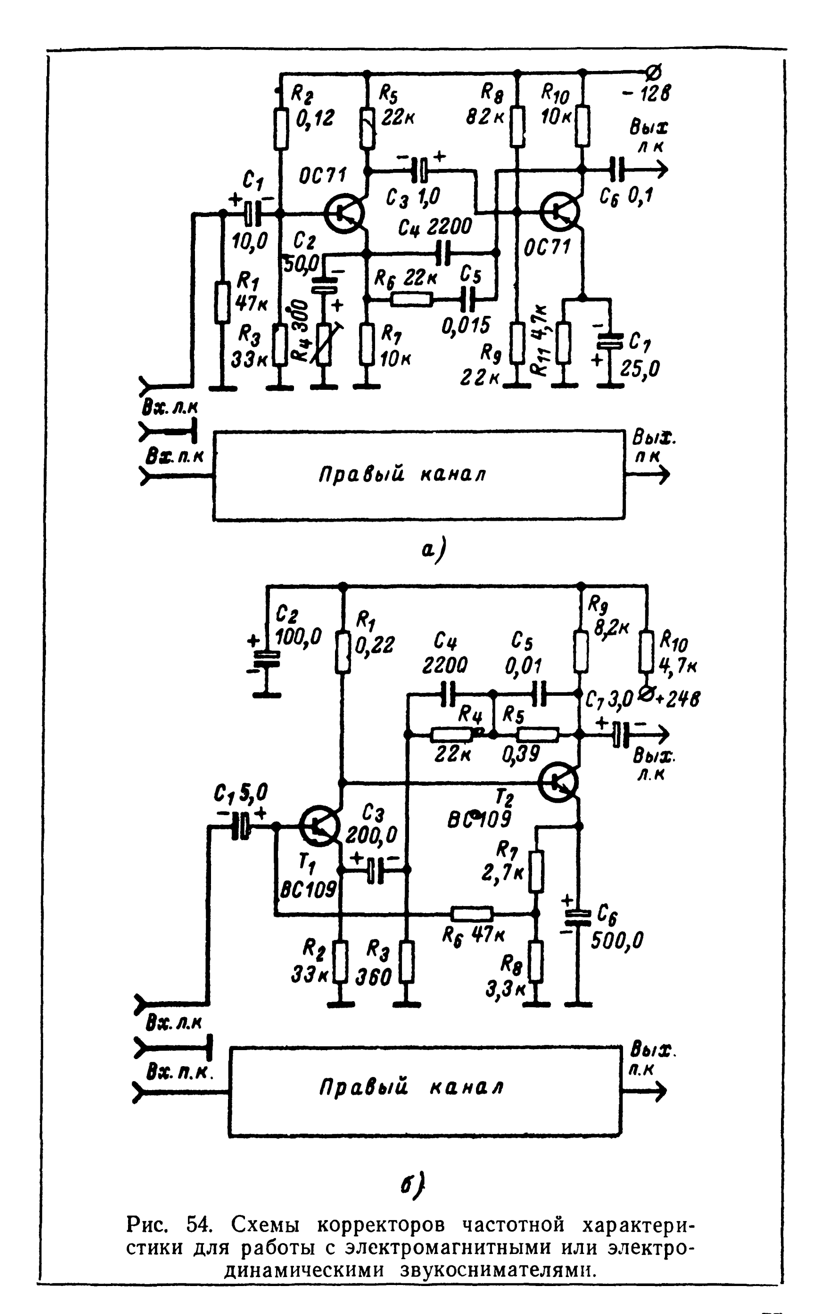


Рис. 54. Схемы корректоров частотной характеристики для работы с электромагнитными или электродинамическими звукоснимателями.

случае, чтобы избежать ослабления нижних частот и резкого подъема верхних, в установку вводят специальный корректор, частотная характеристика которого должна быть обратна частотной характеристике записывающего устройства.

На рис. 54 приведены две схемы усилителей, применяемые для корректирования частотной характеристики электромагнитного или электродинамического звукоснимателя. Усилитель, схема которого показана на рис. 54, *а*, имеет в каждом канале по два каскада, собранных по обычной схеме. Коррекция частотной характеристики здесь осуществляется цепью частотно-зависимой отрицательной обратной связи, состоящей из резистора R_6 и конденсаторов C_4 и C_5. Подстроечный резистор R_4 предназначен для выравнивания усиления каналов (в правом канале вместо подстроечного резистора установлен постоянный резистор сопротивлением 200 *ом*).

Чувствительность такого усилителя около 4 *мв* при коэффициенте усиления порядка 100. Входное сопротивление больше 10 *ком*, а выходное сопротивление около 2 *ком*. Отношение сигнал/шум более 60 *дб*.

Схема аналогичного усилителя приведена на рис. 54, *б*. Здесь коррекция частотной характеристики также осуществляется частотно-зависимой отрицательной обратной связью, цепочка которой составлена из резисторов R_4R_5 и конденсаторов C_4C_5. Отличие рассматриваемой схемы от предыдущей заключается в применении непосредственной связи между транзисторами и отрицательной обратной связи по постоянному току для температурной стабилизации режима работы транзисторов. Помимо этого, входное сопротивление данного усилителя несколько выше (около 47 *ком*), а отношение сигнал/шум улучшено до 70 *дб*. К достоинствам схемы следует отнести устойчивость к перегрузкам. Так, при повышении входного напряжения с 4,5 *мв* до 0,25 *в* коэффициент нелинейных искажений увеличивается от 0,2 до 0,7%.

При подключении к корректирующему усилителю монофонического звукоснимателя обычно используют только один из его каналов.

Регуляторы тембра в стереофоническом усилителе, как и регуляторы громкости, обязательно должны быть спарены. Они должны иметь не только одинаковую величину резистора, но и обеспечивать идентичность частотных характеристик обоих каналов при любых положениях движков переменных резисторов. Необходимость в этом вызвана тем, что если частотные характеристики каналов будут отличаться одна от другой, то изменение высоты звука какого-либо инструмента может вызвать кажущееся на слух перемещение его в пространстве (рассогласование частотных характеристик обоих каналов не должно превышать 2—3 *дб*).

Очень важным параметром стереофонического усилителя низкой частоты является переходное затухание между каналами (отношение полезного сигнала к сигналу, проникшему из другого канала). На основе многочисленных экспериментов установлено, что для сохранения эффекта стереофоничности звучания переходное затухание между каналами должно быть не менее 20 *дб* (за исключением нижних частот). В усилителе для этого нужно тщательно развязать цепи питания анодов и экранирующих сеток ламп (коллекторов транзисторов) и по возможности отдалить один канал от другого или ввести между ними экран. Необходима также тщательная экранировка входных цепей первых каскадов каждого канала.

Следует также отметить, что для неискаженной передачи стереофонических программ нужно, чтобы оба канала усилителя имели не только одинаковое усиление и идентичные частотные характеристики, но еще и идентичные фазовые характеристики. Всегда следует помнить, что любое рассогласование усиления частотных или фазовых характеристик каналов проявляется на слух как кажущееся перемещение источника звука, нарушая тем самым целостность «звуковой картины».

РЕГУЛИРОВАНИЕ СТЕРЕОБАЛАНСА

Как указывалось выше, одним из элементов схемы стереофонического усилителя низкой частоты является регулятор стереобаланса, предназначенный для начального уравнивания усиления обоих каналов. При отсутствии такого регулятора нельзя гарантировать идентичность обоих трактов по усилению, так как трудно подобрать совершенно одинаковые лампы, транзисторы и детали схемы. Помимо этого, перемещая с помощью регулятора стереобаланса «акустическую середину» прослушиваемой программы, можно улучшить стереофонический эффект даже при неудачном расположении акустической системы в помещении или слушателей по отношению к акустической системе. С помощью регулятора стереобаланса можно также в известной степени исправить неудачную запись на магнитофоне или искусственно создать эффект перемещения источника сигнала.

О принципе действия и способах включения регулятора стереобаланса уже говорилось. Однако известно еще много вариантов включения такого регулятора в схему стереофонического усилителя низкой частоты. В последних моделях даже стали применять выносные (дистанционные) регуляторы стереобаланса.

Самая простая схема включения регулятора стереобаланса (рис. 55, *а*) содержит два спаренных переменных резистора, включенных таким образом, что при увеличении усиления в одном из каналов усиление в другом канале падает. Такой регулятор стереобаланса имеет очень большой диапазон регулирования (вплоть до выключения одного из каналов), но обладает тем недостатком, что приводит к некоторой потере чувствительности усиления.

Схема на рис. 55, *б* выгодна тем, что не требует спаренного переменного резистора. Ослабление усиления здесь происходит за счет введения отрицательной обратной связи по току, что способствует улучшению качественных показателей каскада. Эта схема легко может быть использована и для дистанционного регулирования.

Регулирование стереобаланса по схеме рис. 55, *в* основано на изменении величины анодной нагрузки одного из каскадов предварительного усиления сигнала. Применение этой схемы позволяет сохранить усиление каналов на начальном уровне. Однако ее нельзя использовать в тех каскадах, где имеются регуляторы тембра, так как при перемещении движка переменного резистора R_3 возможно его влияние на частотную характеристику каналов усилителя.

Наиболее совершенной является схема регулирования стереобаланса, показанная на рис. 55, *г*. Она также требует спаренных переменных резисторов, но в отличие от схемы рис. 55, *а* здесь переменные резисторы должны иметь совершенно отличные от обычных характеристики относительного изменения сопротивления (рис. 55, *е*). Каждый из переменных резисторов этой системы должен иметь уча-

сток с большим относительным изменением сопротивления от угла поворота оси резисторов (*1*), участок с малым относительным изменением сопротивления (*2*) и поле перекрытия (*3*), которое должно находиться на участке с малым относительным изменением сопротивления. В такой спаренный переменный резистор входят две системы с взаимно противоположными характеристиками относительного изменения сопротивления. Отечественная промышленность выпускает спаренные переменные резисторы для стереофонических усилителей низкой частоты двух типов: СП3-7 и СП3-12. Каждый из

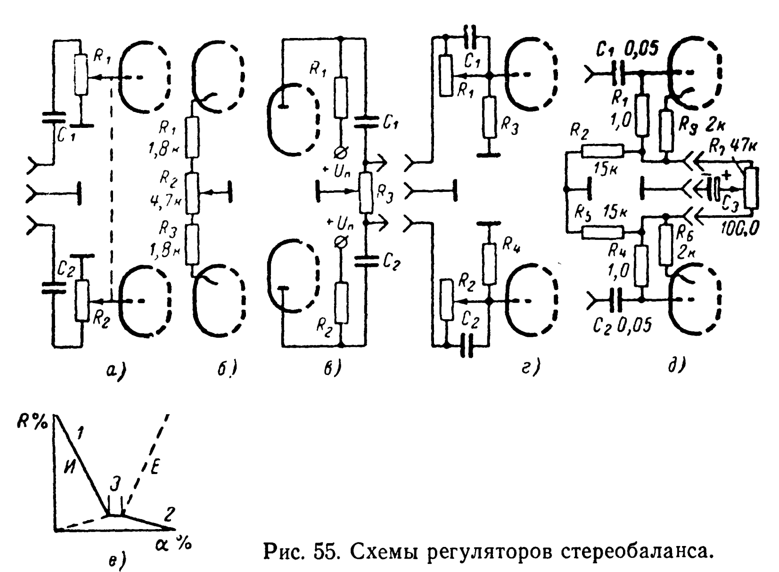


Рис. 55. Схемы регуляторов стереобаланса.

этих типов предусматривает переменные резисторы с кривой относительного изменения сопротивления типа Е (пунктирная линия на рис. 55, *е*) и типа И (сплошная линия).

В современных высококачественных стереофонических установках регулятор стереобаланса, как правило, делают выносным. Одна из возможных схем дистанционного регулирования стереобаланса показана на рис. 55, *д*. В этой схеме изменение усиления одного канала по отношению к усилению другого канала производится благодаря изменению величины отрицательной обратной связи по току путем шунтирования резистора R_2 (или R_5) конденсатором большой емкости C_3. Такой способ регулирования стереобаланса имеет то преимущество, что емкость соединительных проводов длиной до 6 *м* не оказывает заметного влияния на частотные и фазовые характеристики каналов стереофонического усилителя низкой частоты.

Глава четвертая

РЕГУЛИРОВАНИЕ ТЕМБРА В УСИЛИТЕЛЯХ НИЗКОЙ ЧАСТОТЫ

Во всех усилителях низкой частоты приемников с объемным или стереофоническим звучанием применяют раздельное и плавное регулирование тембра на нижних и верхних звуковых частотах. Кроме того, в некоторые усилители вводят еще дополнительный переключатель тембра, позволяющий изменять характеристики усилителя в зависимости от характера прослушиваемой программы.

Заметное на слух изменение тембра звучания происходит в том случае, когда регуляторы тембра позволяют изменять усиление на данной частоте не менее чем на 6 *дб* (в 2 раза). Однако в большинстве случаев для обеспечения действительно высококачественного воспроизведения разнообразных программ такого изменения усиления оказывается недостаточно.

На основе многочисленных опытов установлено, что наиболее естественное воспроизведение любых передач можно подобрать лишь в том случае, когда регуляторы тембра позволяют изменять усиление низкочастотного тракта приемника на нижних и верхних звуковых частотах в пределах 15—20 *дб*. Из этого, конечно, не следует, что частотная характеристика должна иметь подъем в 15—20 *дб* на соответствующих частотах. Наоборот, приведенные цифры — это интервал регулирования, или, иначе говоря, изменение усиления на данной частоте при крайних положениях ручек регуляторов тембра по отношению к усилению на средней частоте. Обычно действие регулятора тембра нижних звуковых частот измеряют на частоте 40—60 *гц*, а верхних — на частоте 12 000—15 000 *гц*; в качестве средней, как правило, принимают частоту 1 000 *гц*.

В зависимости от свойств и особенностей акустической системы для каждого приемника в отдельности следует подбирать такие пределы изменения усиления при регулировании тембра, при которых происходит выравнивание частотной характеристики всего тракта по звуковому давлению. В большинстве случаев регулятор тембра нижних звуковых частот должен обеспечивать изменение частотной характеристики в пределах ±7—10 *дб* по отношению к средней частоте. Действие регулятора тембра верхних звуковых частот должно проявляться в соответствии с полосой пропускания высокочастотного тракта приемника. Если полоса пропускания высокочастотного тракта ограничена и не может изменяться, то целесообразно пределы регулирования тембра распределить равномерно как в сторону повышения, так и в сторону ослабления усиления. Когда же в высокочастотном тракте приемника предусмотрена переменная полоса пропускания и имеется возможность ее регулировать, подъем частотной характеристики в области верхних звуковых частот может быть меньшим, чем спад ее на этих частотах.

Во всех случаях необходимо, чтобы при регулировке тембра изменение выходного напряжения на частоте 1 000 *гц* не превышало бы 3 *дб*; иначе при регулировке тембра будет изменяться громкость слухового восприятия, а это в свою очередь вызовет необходимость регулировать усиление. Следовательно, выбирая и налаживая схему регулирования тембра, надо все время следить за изменением выходного напряжения на средней частоте.

Регулирование тембра может быть осуществлено как непосредственно в цепях усиления сигнала, так и в цепях частотно-зависимой отрицательной обратной связи, а также путем комбинации этих двух способов, когда один из регуляторов тембра помещен в цепи усиления, а другой находится в цепи отрицательной обратной связи. Для возможности осуществления регулирования тембра с подъемом частотной характеристики в области верхних и нижних звуковых частот при любом способе регулирования необходимо иметь в усилителе соответствующий запас по усилению сигнала. Следует еще добавить, что для обеспечения наиболее плавного регулирования тембра в большинстве случаев желательно применять переменные резисторы с линейной характеристикой относительного изменения сопротивления (с кривой типа А).

Регулирование тембра в цепях межкаскадной связи позволяет получить наилучшие качественные показатели усилителя. Чаще всего при этом отрицательная обратная связь для регулирования тембра не используется, а делается лишь частотно-зависимой для образования определенного подъема частотной характеристики в области нижних и верхних частот. Регулирование тембра в этом случае достигается с помощью цепей, ослабляющих усиление на соответствующих частотах. Такой способ регулирования тембра находит самое широкое применение.

На рис. 56 показано несколько подобных схем. Цепь частотно-зависимой отрицательной обратной связи, с помощью которой осуществляется подъем частотной характеристики усилителя в области нижних и верхних частот, здесь не показана.

Самая простая схема представлена на рис. 56, *а*. Здесь в качестве регулятора тембра нижних частот использован переменный резистор R_1, параллельно которому включен конденсатор C_2. В крайнем правом (по схеме) положении движка этого резистора его сопротивление равно нулю, и конденсатор C_2 оказывается закороченным. Следовательно, нижние частоты будут беспрепятственно проходить к управляющей сетке лампы, и частотная характеристика звена будет линейна. По мере передвижения движка влево сопротивление переменного резистора будет возрастать и в крайнем левом положении превысит реактивное сопротивление конденсатора C_2 для нижних частот. Общее сопротивление цепи для этих частот возрастет, и они будут ослаблены, в то время как верхние и средние частоты будут проходить через конденсатор C_2 без ослабления.

Регулирование тембра на верхних частотах осуществляется переменным резистором R_2 с помощью конденсатора C_3. При нижнем положении движка этого резистора верхние частоты полностью подводятся к управляющей сетке лампы. Следовательно, частотная характеристика звена в этой области будет линейна. При перемещении движка переменного резистора в крайнее верхнее положение конденсатор C_3 оказывается включенным между управляющей сеткой лампы и «землей», что приводит к ослаблению верхних частот. Переменный резистор R_2 одновременно выполняет функцию сопротивления утечки сетки лампы.

В схеме рис. 56, *б* имеются три цепи прохождения звуковых частот, усиленных лампой $Л_1$. Верхние частоты подводятся через конденсатор C_2 к переменному резистору R_2 и с его движка к управляющей сетке лампы $Л_2$. Нижние звуковые частоты проходят через переменный резистор R_4, а средние — через резистор R_5, который вместе с резисторами R_6 и R_7 образует развязывающие цепочки, уст-

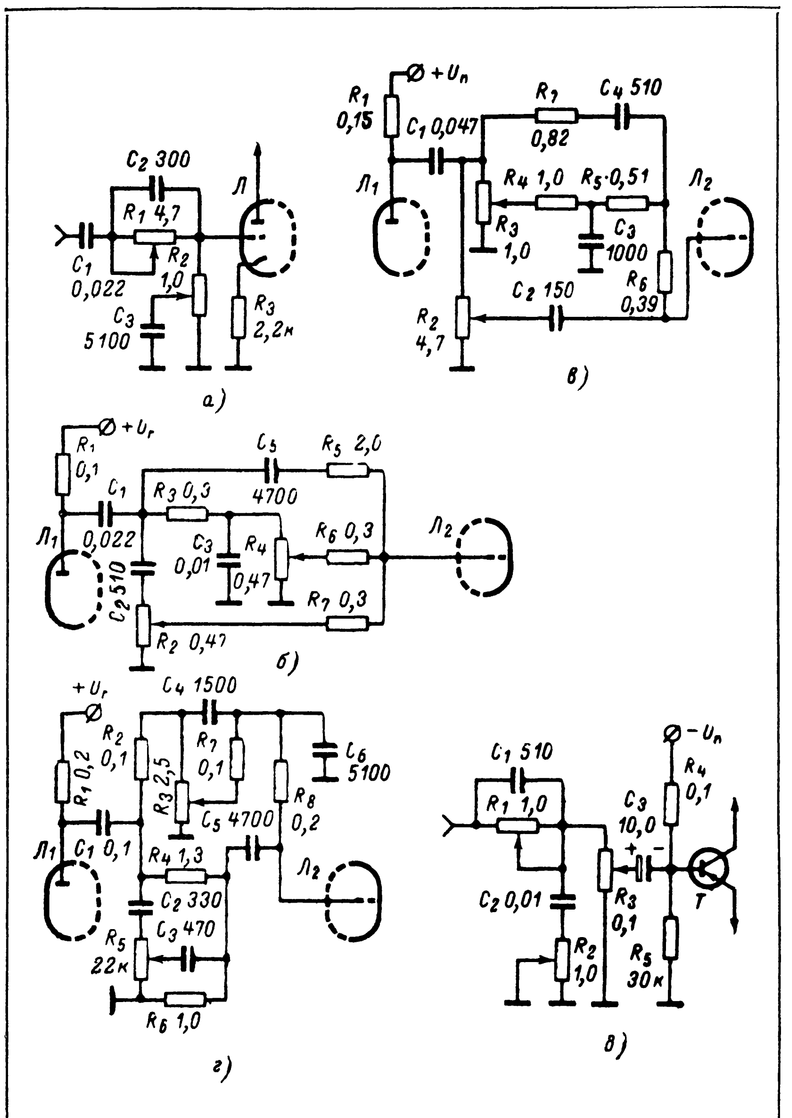


Рис. 56. Схемы регуляторов тембра, расположенных в цепи усиления сигнала.

раняющие влияние одного регулятора на другой. В этой схеме, как и в предыдущей, регулирование тембра осуществляется путем изменения усиления на соответствующих частотах звукового диапазона.

Аналогичная схема приведена на рис. 56, *в*. Регуляторы тембра нижних (R_3) и верхних (R_2) частот также изменяют усиление на соответствующих частотах.

Еще одна подобная схема показана на рис. 56, *г*. В этой схеме в качестве регулятора тембра нижних частот использован переменный резистор R_3, а в качестве регулятора тембра верхних частот —

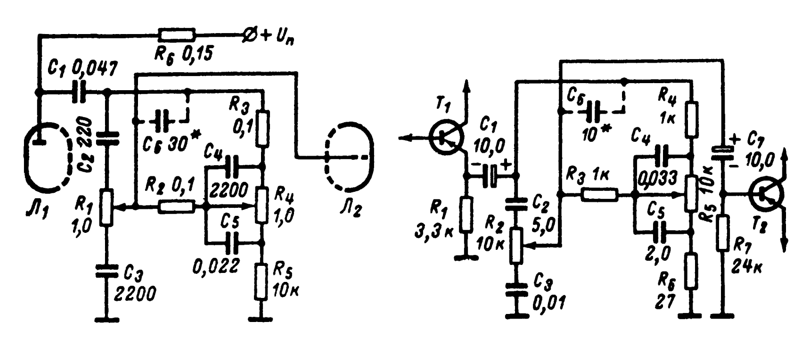


Рис. 57. Схема регулятора тембра на лампах.

Рис. 58. Схема регулятора тембра на транзисторах.

переменный резистор R_5. Средние частоты проходят на управляющую сетку лампы $Л_2$ через резистор R_4 и конденсатор C_5.

На рис. 56, *д* приведена одна из наиболее распространенных схем включения регуляторов тембра на входе транзисторного усилителя. По принципу работы эта схема аналогична показанной на рис. 56, *а*.

Помимо регуляторов тембра, обеспечивающих только ослабление усиления на соответствующих частотах звукового диапазона, широко применяются и регуляторы тембра, которые позволяют не только ослаблять, но и повышать усиление на граничных частотах по сравнению с усилением на средних частотах. При этом отпадает надобность в частотно-зависимой отрицательной обратной связи, обеспечивающей подъем частотной характеристики на крайних частотах рабочего диапазона.

Два возможных варианта включения таких регуляторов тембра показаны на рис. 57 и 58. Принцип действия схемы рис. 57 сводится к следующему. Напряжение звуковой частоты, усиленное лампой $Л_1$, через разделительный конденсатор C_1 поступает на две параллельные цепочки $R_1C_2C_3$ и $R_3R_4R_5C_4C_5$. При среднем положении движков обоих переменных резисторов R_1 и R_4 частотная характеристика усилителя получается почти линейной. Однако благодаря последовательному включению цепочек R_3C_4 и R_5C_5 происходит деление звукового напряжения в отношении 10 : 1, и через резистор R_2 на управляющую сетку второй лампы подается лишь около 10% напряжения, усиленного лампой $Л_1$.

Если теперь передвинуть движок переменного резистора R_4 вверх (по схеме), то это отношение для нижних звуковых частот из-

менится. Произойдет это потому, что конденсатор C_4 окажется замкнутым накоротко. В результате частотная характеристика получит максимальный подъем на нижних звуковых частотах. В другом крайнем положении движка переменного резистора R_4 замкнутым накоротко оказывается конденсатор C_5, что приведет к максимальному ослаблению усиления на нижних звуковых частотах. В промежуточных положениях движка этого переменного резистора подъемы и завалы характеристики будут меньшей величины.

Подобным же образом производится регулирование тембра на верхних звуковых частотах. В крайнем верхнем положении движка переменного резистора R_1 верхние звуковые частоты свободно про-

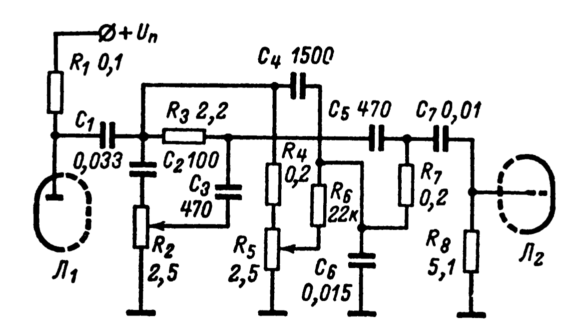


Рис. 59. Схема включения регуляторов тембра, обеспечивающих балансное регулирование.

ходят через конденсатор C_2 к управляющей сетке лампы $Л_2$, а действие конденсатора C_3 ослаблено большим сопротивлением переменного резистора R_1. При другом крайнем положении движка переменного резистора R_1 конденсатор C_3 оказывается подключенным к управляющей сетке второй лампы и резко ослабляет усиление на верхних частотах звукового диапазона.

Резистор R_2 служит для развязывания между собой цепей регулирования тембра. Однако из-за большого его сопротивления (100 *ком*) этот участок схемы становится высокоомным, вследствие чего паразитные емкости, возникающие при неудачном монтаже вместе с емкостью анод — сетка лампы $Л_2$ могут вызвать значительные потери на верхних звуковых частотах. Для их компенсации приходится вводить конденсатор C_6, емкость которого подбирают при налаживании схемы.

Аналогичная схема, используемая в транзисторных усилителях, показана на рис. 58.

Интересная схема регулирования тембра, применяемая в одном из приемников среднего класса, показана на рис. 59. В ней, как и в ранее рассмотренных схемах, регуляторы тембра нижних (R_5) и верхних (R_2) звуковых частот могут лишь ослаблять усиление на соответствующих частотах звукового диапазона. Подъем частотной характеристики в этом усилителе осуществляется тремя *RC*-фильтрами, подключенными к отводам от регулятора громкости (на схеме не показаны).

Регулирование тембра частотно-зависимой отрицательной обратной связью. Как уже говорилось выше, для подъема частотной характеристики на краях полосы пропускания усилителя обычно используют частотно-зависимую отрицательную обратную связь. Схемы подачи напряжения при такой отрицательной обратной связи нами рассматривались ранее при описании различных усилителей. Теперь мы рассмотрим одну весьма интересную схему цепи частотно-зависимой отрицательной обратной связи, в которой использован двойной Т-образный фильтр (рис. 60).

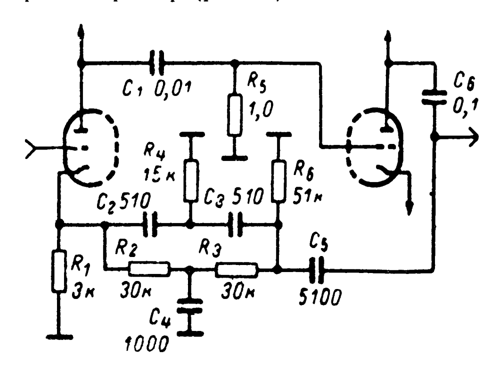


Рис. 60. Схема частотно-зависимой отрицательной обратной связи, создающей подъем частотной характеристики на нижних и верхних звуковых частотах.

В этой схеме, работающей на любом двойном триоде (например, типа 6Н1П), напряжение отрицательной обратной связи снимается с анода лампы $Л_2$ и через конденсатор C_5 и двойной Т-образный фильтр подается на катод первого триода. Сам двойной Т-образный фильтр, состоящий из резисторов $R_2R_3R_4$ и конденсаторов $C_2C_3C_4$, настроен на частоту около 1 000 *гц*. Применение такой схемы позволяет получить подъем частотной характеристики усилителя на частотах 100 и 10 000 *гц* не менее чем на 15 *дб*.

Регулирование тембра с помощью частотно-зависимой отрицательной обратной связи может быть осуществлено по более простым схемам с меньшим количеством деталей. Несколько подобных схем показано на рис. 61. Одна из наиболее простых приведена на рис. 61, *а*.

Частóтно-зависимая отрицательная обратная связь в этой схеме подается со вторичной обмотки выходного трансформатора на катод лампы первого каскада, охватывая весь низкочастотный тракт.

Регулирование тембра на нижних частотах производится переменным резистором R_3, параллельно которому включен конденсатор C_2. Сопротивление этого конденсатора на верхних и средних частотах звукового диапазона мало, поэтому отрицательная обратная связь, а следовательно, и ослабление этих частот получаются максимальными. Изменение сопротивления переменного резистора R_3 не оказывает влияния на усиление средних и верхних частот. По мере

понижения частоты падение напряжения отрицательной обратной связи на резисторе R_2 уменьшается из-за возрастания реактивного сопротивления конденсатора C_2. Это приводит к увеличению усиления на этих частотах. С уменьшением сопротивления переменного резистора R_3 при регулировании тембра полное сопротивление участка цепи R_3C_2 для нижних звуковых частот уменьшается, напряжение отрицательной обратной связи возрастет и подъем частотной характеристики на этих частотах уменьшится.

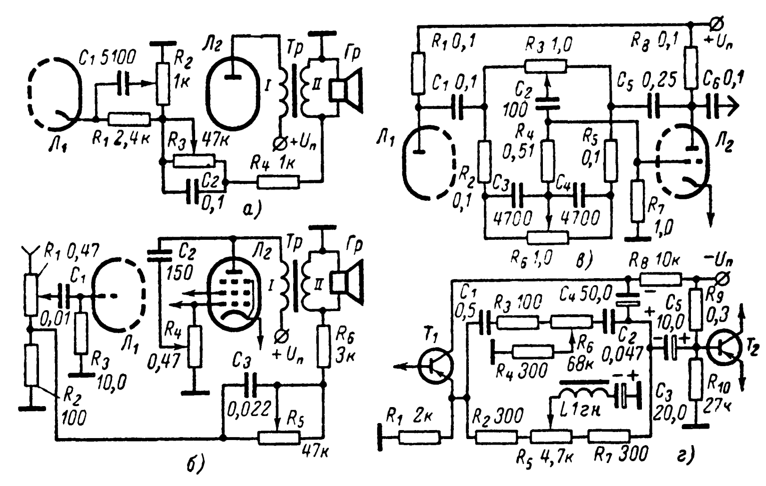


Рис. 61. Схемы регуляторов тембра, помещенных в цепи частотнозависимой отрицательной обратной связи.

а и *б* — позволяющие только ослаблять усиление на границах полосы пропускания; *в* и *г* — позволяющие ослаблять или повышать усиление на крайних частотах полосы пропускания по сравнению с усилением на средних частотах.

Для регулирования тембра на верхних частотах использован переменный резистор R_2. В крайнем нижнем положении движка этого резистора конденсатор C_1 оказывается включенным параллельно резистору R_1, на катод лампы $Л_1$ подается полное напряжение отрицательной обратной связи и ослабление усиления на верхних частотах становится максимальным. По мере передвижения движка переменного резистора R_2 вверх напряжение отрицательной обратной связи на катоде лампы $Л_1$ для верхних частот уменьшается и усиление на этих частотах возрастает.

Схема, показанная на рис. 61, *б*, отличается от ранее рассмотренной тем, что регуляторы тембра нижних (R_5) и верхних (R_4) звуковых частот помещены в различных цепях отрицательной обратной связи. Благодаря этому здесь почти исключено влияние одного регулятора на работу другого.

Регулирование тембра верхних частот происходит следующим образом. Когда движок переменного резистора R_4 находится в нижнем (по схеме) положении, конденсатор C_2 оказывается включенным параллельно первичной обмотке выходного трансформатора, а

так как его емкость мала, то шунтирующее действие этого конденсатора для верхних частот незначительно. По мере передвижения ползунка вверх в цепь управляющей сетки оконечной лампы $Л_2$ через конденсатор C_2 будет вводиться отрицательная обратная связь, которая в верхнем положении движка переменного резистора будет максимальна. Так как реактивное сопротивление конденсатора C_2 для нижних и средних частот велико, его действие на этих частотах проявляться не будет. Однако на верхних звуковых частотах величина отрицательной обратной связи будет максимальна и усиление этих частот станет минимальным.

Принцип действия регулятора тембра нижних частот — переменного резистора R_5 — тот же, что и в предыдущей схеме.

Еще одна схема регулирования тембра с использованием частотно-зависимой отрицательной обратной связи приведена на рис. 61, *в*. Когда движки переменных резисторов R_3 и R_6 находятся в среднем положении, частотная характеристика прямолинейна. По мере передвижения движков в ту или иную сторону изменяется глубина отрицательной обратной связи, а это в свою очередь приводит к изменению усиления на соответствующих частотах звукового диапазона.

Достоинство этой схемы регулирования тембра — большая крутизна срезов частотной характеристики, которая почти не изменяется при регулировании тембра. Следует также отметить, что даже при максимальных подъемах частотной характеристики на краях звукового диапазона глубина отрицательной обратной связи остается достаточно большой, а это обеспечивает малые нелинейные искажения.

Действие частотно-зависимой отрицательной обратной связи использовано для регулирования тембра и в схеме рис. 61, *г* и применяется в транзисторных усилителях низкой частоты. В этой схеме для регулирования тембра нижних звуковых частот применен переменный резистор R_5. Когда его движок находится в левом (по схеме) положении, параллельно резистору R_1 в цепи эмиттера транзистора T_1 включается последовательный резонансный контур LC_3, настроенный на нижнюю частоту диапазона. Вследствие этого действие отрицательной обратной связи на нижних частотах будет минимально и частотная характеристика усилителя будет иметь подъем. При перемещении движка переменного резистора R_5 в другое крайнее положение цепочка LC_3 окажется подключенной к базе транзистора T_2 и усиление на нижних звуковых частотах заметно упадет из-за малого реактивного сопротивления этой цепочки. Резисторы R_2 и R_7 ограничивают действие цепочки LC_3, и подбором их сопротивления можно изменять пределы регулирования тембра.

Для регулирования тембра верхних звуковых частот использован переменный резистор R_6. Когда его движок находится в левом крайнем положении, параллельно резистору R_1 подключается конденсатор C_1 и усиление на верхних частотах звукового диапазона возрастает. В другом крайнем положении движка переменного резистора R_6 к цепи базы транзистора T_2 подключается конденсатор C_2, ослабляющий усиление на верхних звуковых частотах. Пределы регулирования тембра здесь можно подбирать путем изменения сопротивления резисторов R_3 и R_4.

Комбинированное регулирование тембра. При комбинированном регулировании тембра один из регуляторов помещен в цепи усиления сигнала, а другой — в цепи отрицательной обратной связи.

На рис. 62 приведены две схемы, иллюстрирующие такой принцип регулировки. Так, в схеме рис. 62, *а* регулятор тембра нижних частот R_4 помещен в цепь частотно-зависимой отрицательной обратной связи, а регулятор тембра верхних звуковых частот R_1 — на входе усилителя.

В другой схеме (рис. 62, *б*), наоборот, регулятор тембра верхних звуковых частот R_3 помещен в цепи отрицательной обратной связи, а регулятор тембра нижних звуковых частот R_1 — на входе.

Интересная схема показана на рис. 63. В ней, помимо плавных регуляторов тембра верхних и нижних звуковых частот, имеются еще три плавных регулятора, позволяющих изменять частотную характеристику усилителя на фиксированных частотах 600, 1 800 и 3 600 *гц*, а также выносной пульт управления, с помощью которого можно регулировать на расстоянии до 3 *м* громкость и тембр звучания.

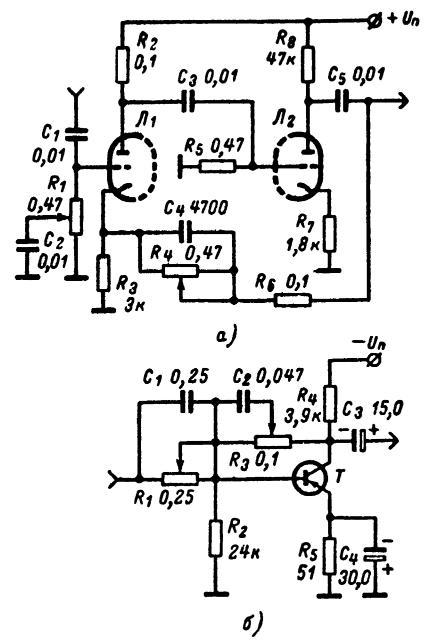


Рис. 62. Схемы комбинированных регуляторов тембра.
а — на лампах; *б* — на транзисторах.

Регулирование тембра верхних звуковых частот и на фиксированных частотах комбинированное. Чтобы легче понять принцип работы такого регулирования тембра, необходимо сначала рассказать об устройстве переменных резисторов R_6, R_7, R_8 и R_9, с помощью которых происходит регулирование тембра. Каждый из этих переменных резисторов представляет собой как бы два реостата по 50 *ком* каждый. Движок переменного резистора, двигаясь из одного крайнего положения в другое, сначала контактирует с одной частью дужки резистора, потом попадает на изолированный участок, а затем переходит на другую часть дужки. Схематическое изображение устройства такого переменного резистора показано на рис. 63 отдельно от схемы (внизу слева).

Как же происходит регулирование тембра? Предположим, что первоначально движок переменного резистора R_9 (регулятора тембра верхних звуковых частот) находится в крайнем правом (по схеме) положении. При этом конденсатор C_6 оказывается включенным в анодную цепь лампы $Л_1$, и через него верхние звуковые частоты закорачиваются на шасси. Следовательно, усиление на этих частотах будет минимальным. По мере передвижения движка переменного резистора влево блокирующее действие конденсатора ослабляет-

ся, а когда движок попадает на изолированный участок, это действие прекращается вовсе. При дальнейшем перемещении движка влево он попадает на другую часть переменного резистора, и конденсатор C_6 оказывается подключенным к катоду лампы $Л_1$. При этом отрицательная обратная связь на верхних частотах уменьшается, создавая тем самым подъем частотной характеристики.

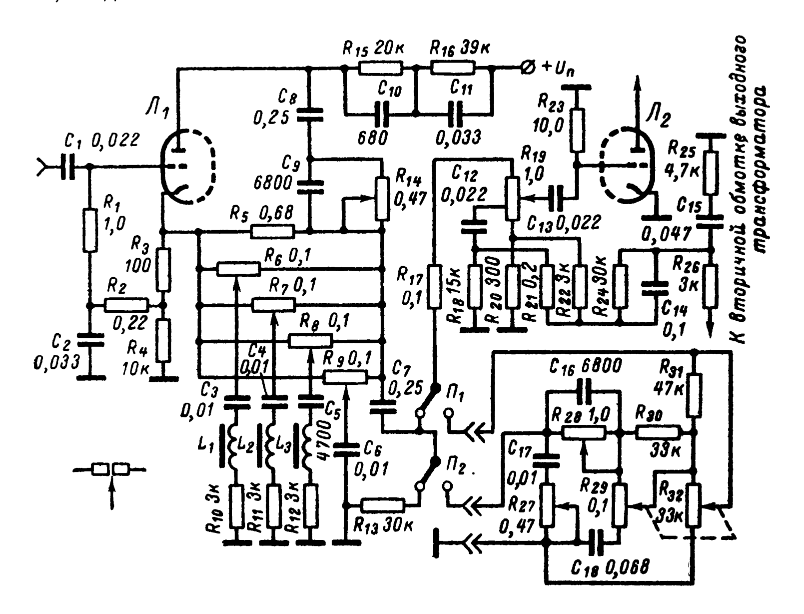


Рис. 63. Схема предварительных каскадов усилителя низкой частоты с плавными регуляторами тембра на фиксированных частотах звукового диапазона и с выносными регуляторами тембра и громкости.

Точно также работают и регуляторы тембра фиксированных частот. Однако здесь к движкам переменных резисторов подключены не конденсаторы, а *LC*-фильтры, настроенные на указанные частоты. Чтобы действие этих фильтров не ограничивалось только этими частотами, но и захватило прилегающие к ним участки частотной характеристики усилителя, последовательно к фильтрам включены резисторы R_{10}, R_{11}, R_{12}, уменьшающие добротность контуров и тем самым расширяющие полосу пропускания контуров.

Регулятор тембра нижних звуковых частот R_{14} помещен между каскадами предварительного усиления сигнала и может только ослаблять усиление на этих частотах. Подъем частотной характеристики усилителя на нижних звуковых частотах создается с помощью частотно-зависимой отрицательной обратной связи, напряжение которой снимается со вторичной обмотки выходного трансформатора и вводится в цепь управляющей сетки лампы $Л_2$.

Пульт дистанционного управления имеет спаренный регулятор громкости R_{29} R_{32} с тон-компенсацией и регуляторы тембра нижних (R_{28}) и верхних (R_{27}) частот, ослабляющие усиление на соответствующих участках частотной характеристики. Включение пульта дистанционного управления производится переключателями $П_1$ и $П_2$. При переходе на дистанционное управление основные регуляторы громкости и тембра должны быть переведены в положение наибольшего усиления соответствующих частот.

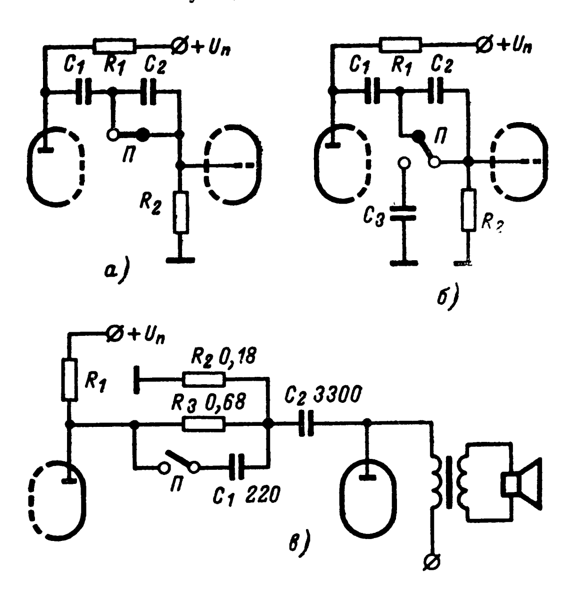


Рис. 64. Схемы простых тон-регистров на два положения (переключатели показаны в положении «Музыка»).

а и *б* — с переключателем в цепи усиления сигнала; *в* — с переключателем в цепи частотно-зависимой отрицательной обратной связи.

Тон-регистры. Мы уже говорили о переключателях тембра, позволяющих простым нажатием кнопки или клавиши изменять частотную характеристику усилителя низкой частоты в соответствии с типом прослушиваемой программы. Такие переключатели тембра, названные тон-регистрами, получили в настоящее время очень широкое распространение. Введение тон-регистра в приемник значительно упрощает пользование им, так как это позволяет путем нажатия на одну из его клавиш или кнопок легко и быстро установить такой тембр звучания, при котором прослушиваемая программа звучит наиболее приятно.

В более простых схемах тон-регистр обычно имеет всего два положения: «Музыка» и «Речь». В схеме рис. 64, *а* это достигается введением последовательно с разделительным конденсатором C_1 до-

полнительного конденсатора C_2, который в положении «Музыка» закорачивается переключателем *П*. При нажатии на кнопку «Речь» контакты размыкаются и общая емкость разделительной цепочки (C_1+C_2) уменьшается, что приводит к заметному ослаблению нижних частот, устраняя неприятное для слуха бубнение при прослушивании речевых передач.

В другой схеме (рис. 64, *б*) при нажатии на кнопку «Речь», помимо включения конденсатора C_2, ослабляющего усиление на нижних частотах, включается конденсатор C_3, с помощью которого дополнительно ослабляется усиление на верхних частотах звукового диапазона. Это еще более сужает полосу пропускания до наиболее благоприятной для прослушивания речевых программ.

В приведенных схемах переключатель тембра помещен в цепи межкаскадной связи. Однако он с успехом может находиться и в цепи отрицательной обратной связи. Примером этого может служить схема, показанная на рис. 64, *в*, где при нажатии на кнопку «Речь» включается конденсатор C_1, увеличивая тем самым глубину отрицательной обратной связи для верхних частот.

В схемах, приведенных на рис. 64, кнопка «Музыка» не показана, так как она контактов не имеет и служит для возврата кнопки «Речь» в исходное положение. При этом частотная характеристика приобретает свою первоначальную форму.

Более сложный тон-регистр с тремя кнопками «Музыка», «Речь» и «Соло» применен в схеме стереофонического усилителя, показанный на рис. 45. Как и в предыдущих схемах, здесь кнопка «Музыка» контактов не имеет и служит для возврата остальных кнопок в исходное положение.

Большинство тон-регистров, используемых в современной аппаратуре высококачественного воспроизведения, имеет пять и более режимов работы. В качестве примеров рассмотрим схемы, приведенные на рис. 65.

Тон-регистр в схеме рис. 65, *а* иметь пять кнопок: «Музыка», «Речь» (*Р*),«Соло» (*С*), «Джаз» (*Д*) и «Бас» (*Б*), причем почти все контакты переключателей тембра помещены на входе усилителя.

При включении кнопки «Речь» контактами P_1 включается дополнительный конденсатор C_2, ослабляющий нижние частоты; контактами P_2 включается конденсатор C_4, который ослабляет усиление на верхних частотах, одновременно контактами P_2 выключаются верхнечастотные громкоговорители, что позволяет избежать в приемниках с объемным звучанием неприятной для слуха «расплывчатости» звучания речевых программ.

Кнопка «Соло» предназначена для прослушивания музыкальных произведений, в которых имеется голосовая партия (арии из опер, песни и т. п.). При нажатии на эту кнопку включаются дополнительные разделительный конденсатор C_1 и блокирующий конденсатор C_3. Емкость первого из них больше, а второго меньше, чем у соответствующих конденсаторов, включаемых кнопкой «Речь». Благодаря этому частотная характеристика сужается в меньшей степени, чем при прослушивании речевых передач. Верхнечастотные громкоговорители при этом не отключаются. При прослушивании джазовой музыки весьма желательно улучшить воспроизведение верхних звуковых частот, поэтому контакты *Д* кнопки «Джаз» включают параллельно резистору R_1 конденсагор C_3, что приводит к образованию подъема в частотной характеристике усилителя на верхних частотах.

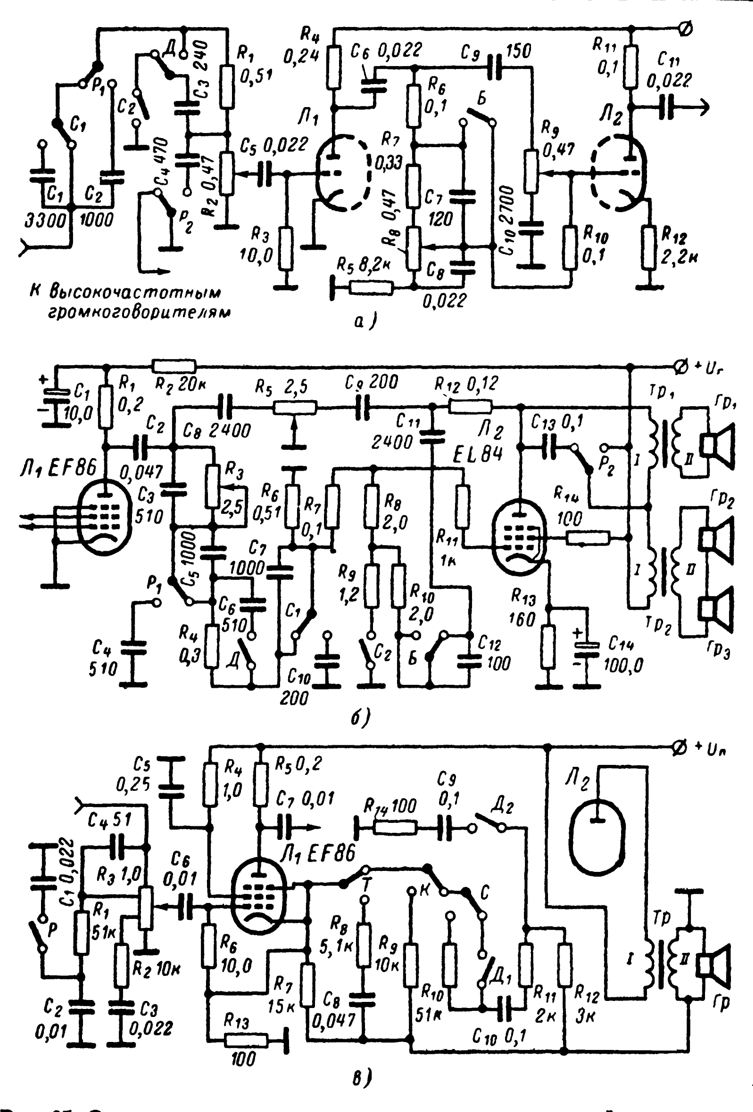


Рис. 65. Схемы сложных тон-регистров на пять положений.

а — с переключателями на входе усилителя; *б* — с переключателем, помещенным между каскадами предварительного усиления сигнала; *в* — с переключателем, помещенным в цепи частотно-зависимой отрицательной обратной связи.

Кнопка «Бас» может включаться и выключаться независимо от положения других кнопок. Это так называемая кнопка двойного действия; при первом нажатии происходит включение, а при следующем нажатии под действием специальной пружины она возвращается в исходное положение.

При нажатии на кнопку «Бас» контакты *Б* закорачиваются, повышая уровень воспроизведения нижних частот. Одновременно из схемы исключается регулятор тембра нижних частот — переменный резистор R_8.

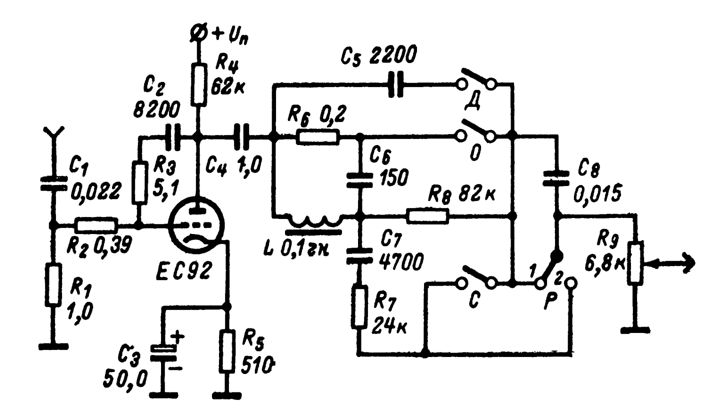


Рис. 66. Схема выносного пульта с переключателем тембра и регулятором громкости.

Как и в предыдущих случаях, кнопка «Музыка» контактов не имеет и служит для перевода других кнопок в исходное положение. При нажатии на эту кнопку частотная характеристика усилителя приобретает свою первоначальную форму и может изменяться плавными регуляторами тембра.

Следует отметить, что для подбора наиболее подходящего тембра звучания можно включать одновременно две или несколько кнопок. В этом случае получается 32 различных варианта частотной характеристики низкочастотного тракта приемника. В дополнение к кнопкам можно использовать и регуляторы тембра нижних (R_8) и верхних (R_9) звуковых частот.

Те же пять кнопок имеет и тон-регистр усилителя низкой частоты, схема которого показана на рис. 65, *б*. Здесь переключатели тон-регистра помещены в цепях межкаскадной связи и в цепи отрицательной обратной связи. Дополнительно к ним предусмотрено и переключение громкоговорителей акустической системы приемника. Так, контакты P_1 кнопки «Речь» включают конденсаторы C_4 и C_5, ослабляющие усиление на границах полосы пропускания, а контакты P_2 выключают из схемы громкоговорители верхних частот $Гр_2$ и $Гр_3$ (вместе с трансформатором $Тр_2$), а также одновременно расширяют диапазон звучания громкоговорителя $Гр_1$ благодаря отключению от первичной обмотки выходного трансформатора $Тр_1$ блокирующего конденсатора C_{13}. Использование в этом случае одного фронтального громкоговорителя и расширение диапазона его звучания улуч-

шают воспроизведение приемником речевых передач. Назначение и принцип действия других кнопок такие же, как и в предыдущем усилителе.

Еще одна схема усилителя низкой частоты показана на рис. 65, *в*. Тон-регистр здесь имеет кнопки «Речь» (*Р*), «Симфоническая музыка» (*С*), «Камерная музыка» (*К*), «Танцевальная музыка» (*Т*) и «Джаз» (*Д*). Кнопка «Речь» помещена на входе усилителя (с ее помощью можно ослаблять усиление нижних звуковых частот). Остальные кнопки находятся в цепи отрицательной обратной связи.

Следует отметить различие частотных характеристик усилителя при использовании кнопок «Танцевальная музыка» и «Джаз». Если при нажатии на кнопку *Т* происходит подъем частотной характеристики только на нижних частотах, то при включении кнопки *Д* добавляется подъем верхних частот. Различные частотные характеристики получаются и при использовании кнопок «Камерная музыка» и «Симфоническая музыка». В положении «Камерная музыка» частотная характеристика усилителя прямолинейна, так как при этом отрицательная обратная связь частотно не зависимая. При прослушивании симфонической музыки создается небольшой подъем нижних частот.

В последнее время широкое распространение получило дистанционное управление приемником. В числе прочих функций, выполняемых на расстоянии, применяется и изменение частотных характеристик усилителя низкой частоты с помощью тон-регистра. Одна из таких схем выносного пульта для дистанционного регулирования тембра приведена на рис. 66. С помощью этого пульта можно на расстоянии до 10 *м* регулировать громкость радиопередачи и устанавливать желаемый тембр звучания. Выносной пульт имеет пять клавиш: «Речь», «Оркестр», «Соло», «Джаз» и «3*D*».

При включении клавиши «Речь» переключателем *Р* в цепь усиления сигнала вводится дополнительный конденсатор C_8, благодаря чему происходит ослабление усиления на нижних частотах (на частоте 100 *гц* спад достигает 8 *дб*). Нажатием клавиши «Соло» (*С*) включается последовательная цепочка $L_{R7}C_7$, что создает подъем около 8 *дб* на частоте 3 000 *гц* (частота резонанса последовательного контура LC_7).

Клавиша «Джаз» (*Д*) обеспечивает подъем верхних частот, начиная с 1 000 *гц*; на частоте 12 000 *гц* этот подъем достигает 12 *дб*.

В замкнутом положении контактов клавиши «Оркестр» (*О*) напряжение звуковой частоты в основном проходит через резистор R_6; при этом частотная характеристика усилителя в диапазоне частот 50—10 000 *гц* практически линейна.

Пятая клавиша предназначена для выключения боковых высокочастотных громкоговорителей, создающих эффект объемности звучания (на схеме не показана). Включение и выключение контактов этой клавиши происходит независимо от положения контактов остальных клавиш.

Выносной пульт управления приемником включается между нагрузкой детектора и входом усилителя низкой частоты. Так как затухание, вносимое цепями регулировки, достигает 12 *дб*, в пульте имеется каскад усиления, охваченный отрицательной обратной связью по напряжению, элементы которой (R_3C_2) создают незначительный подъем частотной характеристики в области нижних частот. В качестве регулятора громкости использован переменный резистор R_9.

Улучшение звучания приемника

Ганзбург Марк Давидович

Редактор *И. Г. Кудрин*
Обложка художника *А. А. Иванова*
Технический редактор *Л. В. Иванова*
Корректор *А. К. Улегова*

Сдано в набор 25/V 1970 г.
Подписано к печати 20/V 1971 г. Т-06285
Формат 84×108[1]/[32] Бумага типографская № 2
Усл. печ. л. 5,04. Уч.-изд. л. 6,54
Тираж 100 000 экз. Цена 27 коп.
Зак. 604

Издательство «Энергия». Москва, М-114, Шлюзовая наб., 10.

Владимирская типография Главполиграфпрома Комитета по печати при Совете Министров СССР
Гор. Владимир, ул. Победы, д. 18-б

Цена 27 коп.